

---

*Scheid, Wolf-Michael :*

***Beitrag zur Planung von AWT-Systemen in Krankenhäusern***

---

*Zuerst erschienen als:*

Beitrag zur Planung von AWT-Systemen in Krankenhäusern /

Scheid, Wolf-Michael

Dortmund : Inst. f. Logistik u.a, 1979,

151 S. : Ill., graph. Darst. ; 30 cm

Forschungsberichte zur industriellen Logistik ; 13

Zugl.: Dortmund, Univ., 1979, Diss.

# **Beitrag zur Planung von AWT-Systemen in Krankenhäusern**

**von  
Dipl.-Ing. Wolf-Michael Scheid  
1979**

"Beitrag zur Planung von AWT-Systemen in Krankenhäusern"

Von der Abteilung Maschinenbau  
der Universität Dortmund  
zur Erlangung des Grades

Doktor-Ingenieur

genehmigte Dissertation

Vorgelegt von

Dipl.-Ing. Wolf-Michael Scheid

aus Limburg

Referent: o. Professor Dr.-Ing. R. Jünemann

Korreferenten: o. Professor Dipl.-Ing. G. Lindner

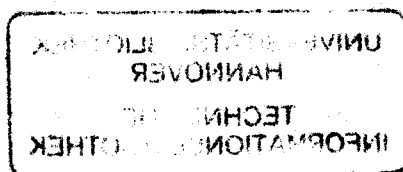
o. Professor Dipl.-Ing. H. Deilmann

Tag der mündlichen Prüfung: 9. Februar 1979

BV 6611 (13)

Die "Forschungsberichte zur Industriellen Logistik" werden vom Institut für Logistik der Gesellschaft für Logistik e.V., Dortmund, in Abstimmung mit dem Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen der Universität Dortmund veröffentlicht.

Mit ihnen werden in einer Fortsetzungsreihe abgeschlossene Forschungsarbeiten, Dissertationen usw., die an den genannten Institutionen entstanden sind, vorgestellt. Die Berichte sollen auf diesem Wege der interessierten Fachwelt zugänglich gemacht werden; sie erscheinen in begrenzter Auflage.



Juli 1979

R. Jünemann

80/9

1746a - 24.1

Ohne ausdrückliche Genehmigung des Herausgebers ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf foto- oder akustomechanischem Wege zu vervielfältigen

Institut für Logistik  
der Gesellschaft für Logistik e.V.,  
Dortmund

ISBN 3-922523-13-7

## Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen der Universität Dortmund.

Herrn Professor Dr.-Ing. R. Jünemann, der mir die Anregung zur Bearbeitung des Themas gab, danke ich für seine Unterstützung und das der Arbeit entgegengebrachte Interesse.

Die Diskussionen mit meinen Kollegen am Lehrstuhl und insbesondere dessen Oberingenieur, Herrn Dr.-Ing. R. Jansen, waren für mich von großem Nutzen. Betreiber und Hersteller von AWT-Anlagen erwiesen sich als stets hilfsbereit und offen für Gespräche.

Ihnen allen, deren Engagement mir weiterhalf, möchte ich für die Unterstützung Dank sagen.

## Inhaltsverzeichnis

|                                                                                                          | <u>Seite</u> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1. Einleitung                                                                                            | 5            |
| 1.1. Stellung des Transportwesens im Krankenhaus                                                         | 5            |
| 1.2. Automatische Wagentransportsysteme (AWT)                                                            | 6            |
| 1.3. Zielsetzung                                                                                         | 9            |
| 2. Aufgabenstellung und Randbedingungen bei der Vorplanung von AWT-Systemen                              | 13           |
| 2.1. Aufgabenstellung                                                                                    | 13           |
| 2.2. Ermittlung der das Objektaufkommen charakterisierenden Zahl zu transportierender Wagen              | 16           |
| 2.2.1. Zuordnung von Transportgutkategorien zu bestimmten Quellen und Angabe des Transportgutaufkommens  | 16           |
| 2.2.2. Ermittlung der Koordinaten von Quellen und Senken                                                 | 19           |
| 2.2.3. Obere Grenzen für zulässige Transportzeiten                                                       | 26           |
| 2.2.4. Betriebszeiten                                                                                    | 27           |
| 2.2.5. Betriebsorganisation                                                                              | 28           |
| 2.3. Randbedingungen                                                                                     | 33           |
| 2.3.1. Berücksichtigung hygienischer Anforderungen                                                       | 33           |
| 2.3.2. Wegeführung                                                                                       | 35           |
| 3. Auswahl und Dimensionierung von AWT-Systemen im Rahmen der Vorplanung                                 | 37           |
| 3.1. Wahl technologischer Varianten und Verknüpfung der Arbeitsmittel                                    | 37           |
| 3.1.1. Systeme mit den Arbeitsmitteln Hängebahn-Fahrwerke und Aufzüge                                    | 37           |
| 3.1.2. Systeme mit dem Arbeitsmittel kontinuierlich horizontal und vertikal fahrende Hängebahn-Fahrwerke | 40           |
| 3.1.3. Systeme mit den Arbeitsmitteln Flurförder-Fahrwerke und Aufzüge                                   | 40           |
| 3.2. Dimensionierung der Arbeitsmittel                                                                   | 43           |
| 3.2.1. Grundlagen der Dimensionierung                                                                    | 43           |
| 3.2.2. Verfahren zur Berechnung von Spielzeiten                                                          | 48           |
| 3.2.2.1. Spielzeiten von Fahrwerken                                                                      | 49           |
| 3.2.2.2. Spielzeiten von Aufzügen                                                                        | 51           |
| 3.2.2.3. Spielzeiten für verbindende Förderer                                                            | 53           |

|        |                                                                                                              |     |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.2.3. | Angabe einzelner Grundgrößen für die Spielzeit-<br>berechnung                                                | 53  |
| 3.2.4. | Besonderheiten bei einzelnen Technologien                                                                    | 55  |
| 3.3.   | Bildung und Berechnung von Strukturen für<br>AWT-Systeme                                                     | 57  |
| 3.3.1. | Ringstruktur                                                                                                 | 58  |
| 3.3.2. | Linienstruktur                                                                                               | 64  |
| 4.     | Verfahren zur Bewertung und Auswahl von AWT-<br>Systemen                                                     | 70  |
| 5.     | Anwendung des Planungsverfahrens                                                                             | 78  |
| 5.1.   | Beschreibung des Planungsmodells                                                                             | 80  |
| 5.2.   | Anwendungsbeispiele                                                                                          | 85  |
| 5.2.1. | Krankenhaus mit linienförmiger Anordnung der<br>Pflegeeinheiten                                              | 85  |
| 5.2.2. | Krankenhausneubau mit flächiger Anordnung<br>der Pflegeeinheiten                                             | 92  |
| 5.2.3. | Erweiterung eines Altbaues durch ein Bettenhaus<br>sowie Neugestaltung des Ver- und Entsorgungs-<br>bereichs | 100 |
| 5.3.   | Wechselwirkungen zwischen Planungsaufgabe<br>und -ergebnis                                                   | 105 |
| 5.3.1. | Vergleich von Ring- und Linienstrukturen                                                                     | 107 |
| 5.3.2. | Vergleich unterschiedlicher Anzahlen von<br>Pflegegeschossen                                                 | 110 |
| 5.3.3. | Veränderung der maximal zulässigen Hin-<br>Transportzeiten                                                   | 115 |
| 5.3.4. | Veränderung der zulässigen Speisenverteilzeit                                                                | 115 |
| 5.3.5. | Veränderung der Größe der Pflegeeinheit                                                                      | 119 |
| 6.     | Zusammenfassung                                                                                              | 123 |
| 7.     | Verzeichnisse                                                                                                | 125 |
| 7.1.   | Schrifttum                                                                                                   | 125 |
| 7.2.   | Abbildungen                                                                                                  | 138 |
| 7.3.   | Tabellen                                                                                                     | 141 |
| 7.4.   | Formelzeichen                                                                                                | 142 |
| 8.     | Anhang - Darstellung untersuchter Strukturen                                                                 | 144 |

## 1. Einleitung

### 1.1. Stellung des Transportwesens im Krankenhaus

Krankenhäuser sind 'Einrichtungen, in denen durch ärztliche und pflegerische Hilfeleistung Krankheiten, Leiden oder Körperschäden festgestellt, geheilt oder gelindert werden sollen oder Geburtshilfe geleistet wird und in denen die zu versorgenden Personen untergebracht und verpflegt werden können' /46/. Gemäß dieser Definition steht im Mittelpunkt des Krankenhausbetriebes der Patient, dem gegenüber ärztliche Leistungen (Untersuchung und Behandlung) erbracht werden und der gepflegt wird. Damit sind zwei wesentliche Bereiche des Krankenhauses, 'Untersuchung/Behandlung' und 'Pflege', genannt, denen der dritte 'Wirtschaftsbereich' mehr oder weniger als Dienstleistungsbereich zur Seite steht.

Soweit zwischen diesen i.d.R. auch räumlich getrennten Bereichen oder auch nur innerhalb eines Bereichs Güter ausgetauscht oder Patienten (etwa von der Pflege zur Behandlung) transportiert werden, sollen die damit verbundenen Vorgänge unter dem Begriff Transportwesen zusammengefaßt werden. Im Hinblick auf die Aufgaben des Krankenhauses übernimmt das Transportwesen demnach eine Hilfsfunktion mit Dienstleistungscharakter /68/. Dies kommt auch in seinem geringen Einfluß auf die gesamten Betriebskosten zum Ausdruck. Wird beispielsweise der wesentliche Teil der Transportaufgaben für Stückgüter durch sogenannte manuelle Hol- und Bringedienste ausgeführt, so beläuft sich der entsprechende Personaleinsatz allenfalls auf bis zu etwa 5 % des gesamten Personals eines Krankenhauses /43, 60/; eine Einsparung durch Automatisierung dieses Bereichs würde unter 2 % der gesamten laufenden Kosten eines Krankenhauses liegen /62/.

Andererseits wurde zu Zeiten der Knappheit an Pflegepersonal erkannt, daß auch im Bereich Pflege zu einem nicht unerheblichen Teil nicht-pflegerische Tätigkeiten ausgeführt werden. Der entsprechende Zeitanteil wird auf bis zu 35 % der Arbeitszeit des Pflegepersonals geschätzt /80/. In Einzelfällen erreichen allein die Anteile für die Erledigung von Transportaufgaben Werte von bis zu 38 % der Arbeitszeit /129/<sup>1)</sup>. Entsprechend setzten Bemühungen zur Entlastung des Pflegepersonals von solchen nicht-pflegerischen Tätigkeiten an, um dem aus Personalknappheit tendenziell überlasteten Pflegepersonal

---

1) Der Aufwand für reine Hol- und Bringearbeiten der Krankenschwestern kann i.d.R. mit ca. 5 % angenommen werden /146/



mehr Zeit für die eigentliche pflegerische Aufgabe zu geben /35, 42, 120, 138/.

Eine Möglichkeit hierzu bieten Maßnahmen der Mechanisierung oder Automatisierung von Arbeitsabläufen, d.h. letztlich der Substituierung von Personal- durch Kapitalkosten /35, 60/. Im Krankenhaus kommen hierfür vorrangig Arbeiten infrage, die die Anwesenheit des Patienten nicht erfordern /26/. Damit handelt es sich in erster Linie um Aufgaben der Lagerung, des Transports und des Verteilens von Informationen und Gütern /30, 144/. Außerdem werden bislang dezentral vor allem im Pflegebereich erledigte Arbeitsvorgänge nicht-pflegerischer Art im Wirtschaftsbereich zentralisiert. Für gleichartige Arbeitsvorgänge schafft diese Zentralisierung Losgrößen, die eine Mechanisierung oder Automatisierung zu vertretbaren Kosten erlauben /89/.

Aus der Zentralisierung resultiert zugleich ein höheres Transportaufkommen. So wird immer wieder festgestellt, daß der Umfang der Gütertransporte im Krankenhaus ständig zunimmt /29, 54, 68, 55, 114/. Hieran sind sicherlich auch gestiegene Ansprüche an schnelle Verfügbarkeit von Gütern und geänderte Verbrauchsgewohnheiten beteiligt.

Da Transporte im Krankenhaus traditionell manuell durchgeführt wurden mit Hilfe der erwähnten Hol- und Bringedienste, geriet aus den genannten Gründen die optimale Gestaltung von Güter-Transportsystemen ins Blickfeld der Krankenhausfachleute. Die erwünschte Zentralisierung konnte bzw. kann ohne negative Auswirkungen auf die Betriebsabläufe nur gelingen, wenn ein entsprechend leistungsfähiges Transportsystem sie unterstützt.

## 1.2. Automatische Wagentransportsysteme (AWT)

Im Sprachgebrauch werden Begriffe wie Fördern und Transportieren nicht immer exakt unterschieden /8, 9/. Für den automatischen Transport von Stückgütern im Krankenhaus hat sich der Begriff 'Automatische Warentransportanlage' /28, oder auch 'Automatische Wagentransportanlage' /35/ eingebürgert, abgekürzt AWT (s. Abbildung 1). In Abhängigkeit der Transportgutkategorie, die im wesentlichen gekennzeichnet ist durch das je Transportvorgang transportierte Volumen und die zugehörige Masse, kann unterschieden werden zwischen Klein- Mittel- und Groß- sowie Sondertransporten /57/. Dabei sind Anlagen für Mit-

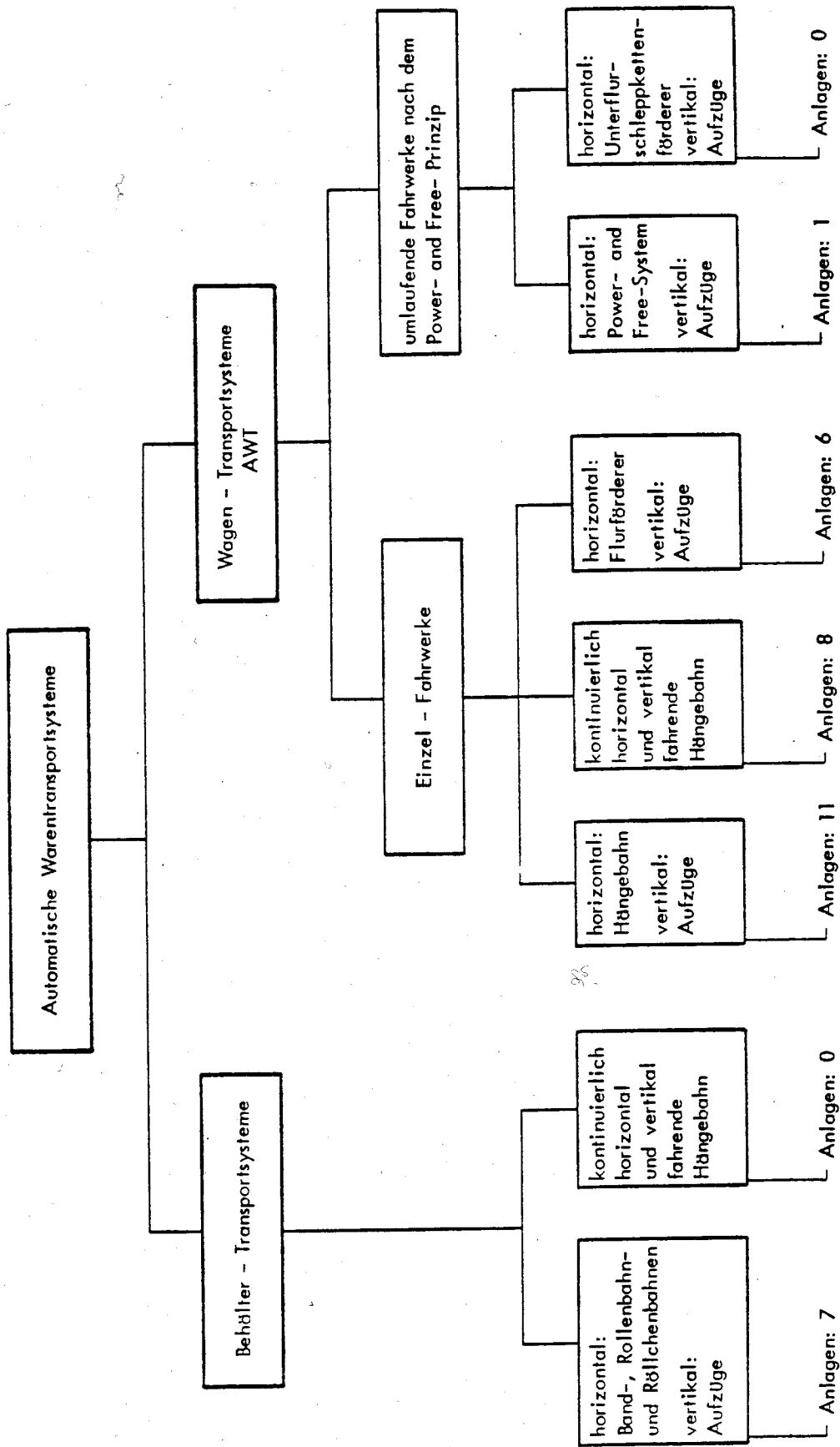


Abb. 1: Technologien angebotener und installierter (bzw. in Auftrag befindlicher) AWT-Systeme  
(Bundesrepublik Deutschland) - Stand: Mitte 1978

teltransporte nahezu für alle im Krankenhaus zu transportierenden Güter geeignet. In bezug auf Häufigkeit, Volumen und Masse übernehmen sie den weitaus größten Teil des Transportaufkommens /62/.

Da mehr als 50 % des Zeitaufwandes manueller Transportsysteme (Hol- und Bringendienste) auf den Bereich der Mitteltransporte entfallen /62, 135/, bot es sich an, diesen Bereich zu automatisieren. So sind die in Betrieb befindlichen automatischen Wagentransportsysteme für den Transport von Speisen, Wäsche, Müll, Medikamenten, Ge- und Verbrauchsgütern konzipiert. Ob und ggf. unter welchen Bedingungen solche Systeme wirtschaftlicher sind als manuelle Hol- und Bringendienste, ist bislang stets nur für einzelne spezielle Einsatzfälle geklärt worden (vgl. etwa /56, 58/).

In jüngster Zeit spielen neben dem bereits genannten Grund der Personal- und damit Kosteneinsparung andere Motive wie Erweiterung des Freiheitsraumes des Architekten durch Entfall des Zwanges zu wegekurzen Bauten /109, 136/ sowie die Möglichkeit zur Realisierung erheblich verbesserter Hygienestandards /41, 58, 66, 136, 154/ eine maßgebliche Rolle bei der Entscheidung zu Gunsten der Einführung automatischer Wagentransportsysteme.

Damit sind die Hauptgründe genannt, die zur Beschäftigung mit automatischen Wagentransportanlagen (AWT) führen. Die vorliegenden Erfahrungen an ausgeführten Anlagen, die Darstellungen in der Literatur sowie der erreichte Stand der Planungsmethodik von Ver- und Entsorgungsanlagen im Krankenhaus zeigen, daß eine systematische Behandlung aller die Planung solcher Anlagen betreffenden Fragen bislang fehlt. Dies zeigt sich beispielsweise daran, daß die Angaben darüber, ob die Einführung eines automatischen Systems zweckmäßig ist, keineswegs eindeutig sind /31, 49, 66/<sup>1)</sup>. Allgemein gültige Aussagen aufgrund der Erfahrungen mit den bereits in Betrieb befindlichen Anlagen sind nicht möglich, da es sich stets um spezielle Einsatzfälle handelt. Bezogen auf die Bundesrepublik geht es um weniger als 30 Anlagen, die auf 5 unterschiedlichen Technologien basieren (vgl. Abbildung 1) und die in Häusern mit verschiedenartig gestalteten Baukörpern sowie kleinen bis sehr großen Bettenzahlen installiert wurden.

---

1) Beispielsweise werden als Entscheidungshilfe, ob eine AWT-Anlage wirtschaftlich vorteilhaft sein könne, Krankenhausmindestgrößen von 250 bis zu mehr als 700 Betten genannt /28, 59, 110, 136/

Damit sind insgesamt weniger als 1 % der Krankenhäuser bzw. weniger als 4 % des Bettenbestandes ganz oder teilweise mit AWT-Anlagen verbunden.

Für den Fall weiterer Investitionen für solche Anlagen ist entsprechend eine Ungewißheit über die zu erwartenden Aufwendungen vorhanden. Bezogen auf die planmäßigen Betten der betroffenen Krankenhäuser werden die erforderlichen Investitionsaufwendungen auf bis zu DM 10.000,-- je Bett geschätzt /28, 55/. Überschlägige Berechnungen der Aufwendungen für nahezu alle in der Bundesrepublik im Einsatz bzw. in Auftrag befindlichen Anlagen ergeben eine Spannweite von ca. DM 2.000,-- bis über 16.000,-- je Bett.

Diese Unsicherheit über die zu erwartenden Investitionsaufwendungen ist i.d.R. charakteristisch für die Phase vor einer Investitionsentscheidung. Daher sollte ihr eine gründliche Planung des Transportsystems mit der Entscheidung für eine bestimmte Technologie vorausgehen.

### 1.3. Zielsetzung

Die durch AWT-Anlagen im Betrieb zu erfüllenden Anforderungen werden durch Programm- und Betriebsplaner vorgegeben. Die vertikale und horizontale Trassenführung legt der Architekt fest. Diese Vorgaben dienen meist als Grundlagen für die Erstellung der Ausschreibungsunterlagen für das AWT-System. Da ein Systemvorschlag für die zu wählende Technik nicht enthalten ist, handelt es sich tendenziell um 'Funktionale Leistungsbeschreibungen' im Sinne der Verdingungsordnung Bau (VOB), d.h. eine Leistungsbeschreibung mit Leistungsprogramm /13/. Wesentliche Planungsarbeiten sind damit im Rahmen der Angebotserstellung zu erbringen. Für sich betrachtet, können die gesamten Planungsaufwendungen 8 bis 23 % des entsprechenden Investitionsaufwandes ausmachen /2, 34/. Das Erbringen von Planungsleistungen im Rahmen eines Angebots muß daher zu u.U. erheblichen Erhöhungen der sonst erforderlichen Angebotsbearbeitungskosten führen /24/ und sich daher letztlich auch im Angebotspreis niederschlagen. Diesen Mehrpreis kann man in Anlehnung an die in der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure HOAI /47/ genannten entsprechenden Planungsleistungen abschätzen. Der Aufwand für die Grundlagenermittlung, Vorplanung, Entwurfsplanung, Ermittlung der Massen und Aufstellung des Leistungsverzeichnisses beträgt demnach insgesamt etwa 2,5 bis 3 % vom jeweiligen Angebotswert. Üblicherweise wären die entsprechenden Arbeiten vor einer Ausschreibung durch den Planer des AWT-Systems zu erbringen. Bei der geschilderten Praxis werden sie ganz oder teilweise vom Anbieter ausgeführt.

Diese Situation ist unbefriedigend. Wegen der meist großen Zahl der angefragten Firmen sinkt für den einzelnen Anbieter die Wahrscheinlichkeit, einen Auftrag zu erhalten. Die Motivation, für den jeweiligen Anwendungsfall optimale Lösungen zu entwickeln, ist daher vor einer Auftragsvergabe gering. Der erbrachte Planungsumfang selbst orientiert sich an den Vorgaben von Architekt und Betriebsplaner. Eine Rückkopplung und ggf. Revision dieser Vorgaben findet nicht im gewünschten Maße statt. Wegen der nur allgemein gehaltenen Ausschreibungsunterlagen in Verbindung mit unterschiedlichen angebotenen Technologien sind abgegebene Angebote nur teilweise vergleichbar. Der Aufwand für die Angebotsauswertung durch den Auftraggeber steigt aufgrund notwendiger Nachträge, Klärung von Angebotsunterschieden etc. erheblich an. Es ist nicht gewährleistet, daß die auf diesem Wege gewählte Lösung für den jeweiligen Anwendungsfall auch die optimale ist. Würde dagegen nur eine einzige Technologie ausgeschrieben, so ließen sich die Ausschreibungsunterlagen eindeutiger und detaillierter gestalten. Das Vergabeverfahren vereinfachte und verbilligte sich.

Möglich würde dies durch ein geändertes Planungsverfahren. Üblicherweise setzt sich eine Planung aus den Phasen Vorplanung, Ausführungsplanung, Konstruktion sowie Realisierung, Montage und Inbetriebnahme zusammen und fällt vor Beginn der konstruktiven Phase die Entscheidung zugunsten eines Systems und eines Lieferanten /65/. Gelänge es, die Phase der Vorplanung so transparent und eindeutig zu gestalten, daß die Entscheidung zugunsten einer bestimmten Technologie schnell und kostengünstig getroffen werden kann, so würde zweckmäßigerweise an die Stelle der derzeitigen Ausschreibungs- und Vergabepaxis eine Vorplanung treten, die mit exakten auf eine sich als günstigste erwiesene Technologie basierenden Vorgaben beruhenden Ausschreibungsunterlagen abschließt. Damit würde eine Beschränkung der Bieterzahl möglich, wie sie im Zusammenhang mit der erwähnten funktionalen Leistungsbeschreibung gefordert wird /22/.

Unterteilt man die Vorplanung zudem gedanklich in 'Vorstudien zur Ermittlung der Aufgabenstellung' sowie 'Planungsstudien als Vorplanung zur Erarbeitung der optimalen Gesamtkonzeption', so muß ein für die Vorplanung geeignetes Planungsverfahren die Wechselwirkungen zwischen diesen beiden Phasen deutlich machen. Damit könnten die Einflüsse auf das Planungsergebnis, die aus den Vorgaben von Programm- und Betriebsplaner sowie Architekten resultieren, erkannt werden. Ggf. sind kostensenkende Revisionen dieser Vorgaben möglich.

Unter diesem Aspekt ist es möglich, Rückwirkungen aus dem Transportgeschehen auch auf die architektonische Struktur des jeweiligen Krankenhauses zuzulassen. Damit können sich für bestimmte Krankenhausgrößen Optimierungen nicht allein des Transportsystems, sondern auch der baulichen Anordnung der durch das Transportsystem zu verbindenden Bereiche ergeben. Das Transportsystem selbst wird dann ggf. auf ein noch erforderliches Minimum reduziert, es ergibt sich das Modell eines aus dem Gesichtspunkt des Transportwesens optimalen Krankenhauses (zu diesem Ansatz vgl. / 98/).

Obwohl bislang bis auf eine Ausnahme /39/ AWT-Anlagen stets in Verbindung mit Krankenhausneubauten installiert wurden, ist aufgrund des erheblichen Bedarfs an Sanierungsmaßnahmen (vgl. etwa /1, 44, 90, 117/) davon auszugehen, daß künftige mögliche Einsatzfälle in zunehmendem Maße bereits vorhandene bzw. umzubauende Krankenhäuser betreffen. Damit ergeben sich die unterschiedlichsten architektonischen Lösungen mit jeder nur denkbaren Anordnung und Zuordnung der einzelnen Krankenhausbereiche. Im Gegensatz zu dem erwähnten Ansatz / 98/ ist in diesen Fällen eine Beeinflussung der architektonischen Gestaltung der Krankenhausanlage prinzipiell als nicht möglich anzusehen. Dies gilt auch für den Fall, daß Neubauvorhaben bestimmten Restriktionen (etwa durch das Grundstück oder vorgegebene maximale Höhen) unterliegen.

Ziel dieser Arbeit ist es daher, ein Verfahren zur Vorplanung von AWT-Anlagen bis zur Entscheidung für das jeweils optimale System zu entwickeln, das für beliebig angeordnete Krankenhausanlagen anwendbar ist. Dabei sollen jeweils die Technologie und die Systemauslegung als optimal angesehen werden, die den Anforderungen der Betriebsplanung genügen und zugleich die wirtschaftlichste Alternative darstellen. Gefordert ist daher ein Verfahren, das alle die Planung beeinflussenden Faktoren erfaßt, eindeutig und in sich optimierend ist.

Die Anwendbarkeit des zunächst theoretisch zu entwickelnden Verfahrens soll an Hand praxisnaher Planungsbeispiele nachgewiesen werden.

Durch Variation von Parametern des Planungsprozesses sollen zudem exemplarisch Einflüsse auf die Systemwahl gezeigt werden, die aus der Aufgabenstellung selbst resultieren.

Hinsichtlich der zu vergleichenden Technologien orientiert sich diese Arbeit an automatischen Wagentransportsystemen (mit Einzelfahrwerken) auf der Basis von Hängebahn- und Flurfördersystemen. Andere Technologien werden für den Einsatz im Krankenhaus kaum angeboten und sind bislang auch nur in Ausnahmefällen realisiert worden (vgl. Abbildung 1, S. 7).

Konventionelle Transportsysteme, d.h. manuelle Hol- und Bringendienste oder auch mechanisierte Systeme (etwa Einsatz manuell gesteuerter Schlepper) werden in dieser Arbeit nicht behandelt. Theoretisch wäre eine Anwendung des entwickelten Verfahrens auch auf diese Technologien möglich, wenn sie im Hinblick auf die Streckenführung und die organisatorische Gestaltung der Abläufe den hier dargestellten automatischen Transportsystemen entsprechen.

Da es nur sehr wenige Krankenhäuser mit 1.000 und mehr Betten gibt, sollen vorwiegend Krankenhäuser unterhalb dieser Größenordnung betrachtet werden.

## 2. Aufgabenstellung und Randbedingungen bei der Vorplanung von AWT-Systemen

### 2.1. Aufgabenstellung

Im Rahmen der Krankenhauslogistik stellen AWT-Systeme logistische Systeme dar, die den Transport zwischen verschiedenen Krankenhausbereichen ausführen.

Dabei stellen manuell leicht bewegliche Wagen die Objekte dar, die von örtlich fest vorgegebenen Quellen zu ebenfalls fest vorgegebenen Senken transformiert werden<sup>1)</sup>. Betrachtet man zunächst das Objektaufkommen als solches, so ist festzustellen, daß entsprechend dem Stande der Zentralisierung im jeweiligen Krankenhaus unterschiedliche Gutarten zu erkennen sind, die jeweils in Verbindung mit einem Transporthilfsmittel, dem Wagen, zu einer zu einer bestimmten Senke zu transformierenden Einheit, dem Objekt, zusammengefaßt werden. Dabei ändern sich Mengen und Sorten des Gutes während der Objekttransformation nicht, während der Unterschied zwischen Anfangs- und Endzustand des Objektes durch eine Änderung von Ort und Zeit gekennzeichnet werden.

Bezeichnet man die Quellen mit  $Q_i$ , die Senken mit  $S_j$ , so läßt sich die dem Planer von AWT-Systemen gestellte Transportaufgabe durch die zu bewältigende Objekttransformation

$$O_{ij} = \{Q_i\} \longrightarrow \{S_j\}$$

mit  $Q_i$  (Ort<sub>i</sub>, Zeit<sub>i</sub>) und  $S_j$  (Ort<sub>j</sub>, Zeit<sub>j</sub>) beschreiben.

Für AWT-Systeme charakteristisch ist eine Dualität des Objektaufkommens.

Einer jeden Objekttransformation  $O_{ij} = \{Q_i\} \longrightarrow \{S_j\}$  läßt sich eine Objekttransformation  $O'_{ji} = \{S_j\} \longrightarrow \{Q_i\}$  zuordnen. Anders ausgedrückt stellt jede Quelle zugleich eine Senke dar und umgekehrt.

Geht man nämlich beispielsweise von der Zentralisierung der Küche aus, so werden zwar von der Quelle 'Küche' zu den Senken 'Pflegeeinheiten bzw.

---

1) Die Terminologie bei der Beschreibung des AWT-Systems als logistisches System 3. Ordnung in dem hier erforderlichen Rahmen lehnt sich an Jünemann an (vgl. /63, 64, 65/)



Stationen' die Objekte 'Wagen mit Speisen' transformiert, jedoch kann diese Objekttransformation zugleich als auslösend für den Vorgang des Transports von 'Wagen mit Schmutzgeschirr' von den Quellen 'Pflegeeinheiten bzw. Stationen' zur Senke 'Küche' angesehen werden.

Dabei kann der transformierte Wagen als Transporthilfsmittel für das ihm zugeordnete Gut betrachtet werden. Dies schließt ein, daß eine Objekttransformation auch für eine Menge 0 erfolgen kann, wobei es im vorliegenden Fall eine Frage der Zweckmäßigkeit ist, ob dennoch eine Sortenbezeichnung beibehalten werden soll. So werden beispielsweise in den meisten installierten AWT-Anlagen 'leere Wagen' (d.h. Menge = 0) zu den 'Pflegeeinheiten bzw. Stationen' transportiert, dort mit Müllsäcken beladen und dann (Menge  $\neq$  0) zu der Senke 'Müllumschlag' transportiert. Es erscheint in diesem Falle wegen des kausalen Zusammenhanges durchaus zweckmäßig, bei beiden Objekttransformationen von der Sorte 'Müll' und entsprechend im Sprachgebrauch von 'Mülltransportwagen' zu sprechen.

Zugleich wird deutlich, daß mengenmäßig das Objektaufkommen durch die Zahl der zu transportierenden Wagen eindeutig beschrieben werden kann.

Diese Wagen werden an der Schnittstelle zwischen dem AWT-System und seiner Umgebung an einem eindeutig definierbaren Ort, der sich abstrahierend durch seine Koordinaten in einem dreidimensionalen Raum beschreiben läßt, bereitgestellt. Dieser Ort stellt zugleich physisch eine Quelle des AWT-Systems dar, von der aus eine Transformation zu einer Senke erfolgt, die sich analog als Schnittstelle zwischen AWT-System und seiner Umgebung bezeichnen und durch die zugehörigen Koordinaten beschreiben läßt. Eine eindeutige Zuordnung von Quelle und Senke verlangt zudem, daß dem an der Quelle bereitgestellten Wagen zumindest logisch die zugehörige Senke zugeordnet wird.

Geht man davon aus, daß für den Transport eines beliebigen Wagens der Anfangszustand örtlich durch die Quelle und zeitlich durch den Zeitpunkt der Bereitstellung des Wagens an dieser gegeben ist, so ist der Endzustand durch den Ort der (der mit der Bereitstellung des Wagens diesem logisch zugeordneten) Senke und zeitlich durch den Zeitpunkt des Eintreffens des Wagens an der Senke beschrieben. Sind beide Zustände fest vorgegeben, ist das System überbestimmt. Von daher kann der Endzustand hinsichtlich seiner zeitlichen Komponente als aus den 3 anderen Größen (Ort der Quelle, Zeitpunkt

der Bereitstellung, Ort der Senke) resultierend angesehen werden. Dabei ist es eine Eigenart von AWT-Systemen, daß für bestimmte Transportgüter ein nicht zulässiger Bereich für den Zeitpunkt des Eintreffens oder Absendens an der Senke bestehen kann. Wird nämlich die zeitliche Differenz zwischen Anfangs- und Endzustand als Transportzeit bezeichnet, so gibt es beispielsweise für warme Speisen eine obere Grenze der zulässigen Transportzeit.

Ausgehend von einer Einteilung nach Kalendertagen, läßt sich demnach die Aufgabe der Planung eines AWT-Systems beschreiben durch

- die Zuordnung von Transportgutkategorien zu bestimmten Quellen  $Q_i$ <sup>1)</sup>
- die Angabe des Transportaufkommens zwischen diesen Quellen  $Q_i$  und den Senken  $S_j$ <sup>1)</sup>
- die Angabe der Koordinaten von Quellen und Senken
- die Angabe etwaiger oberer Grenzen für zulässige Transportzeiten
- Angabe zulässiger frühester Zeitpunkte für Bereitstellen bzw. Eintreffen von Wagen an Quellen  $Q_i$  bzw. Senken  $S_j$  (Betriebsbeginn)<sup>1)</sup>
- Angabe zulässiger spätester Zeitpunkte für Bereitstellen bzw. Eintreffen von Wagen an Quellen  $Q_i$  bzw. Senken  $S_j$  (Betriebsende)<sup>1)</sup>
- die entsprechende Angabe des dualen Transportaufkommens
- Randbedingungen, wie beispielsweise den zulässigen Weg im Raum zwischen Quellen und Senken.

Dabei ergeben sich die genannten Angaben aus den Vorstudien zur Ermittlung der Aufgabenstellung. Die zur Erarbeitung einer optimalen Systemlösung als Erfüllung dieser Planungsaufgabe durchzuführende Vorplanung sollte sich dann in die Schritte (vgl. /65/)

- Wahl technologischer Varianten des AWT-Systems
- Qualitative Verknüpfung der einzelnen Arbeitsmittel
- Quantitative Bestimmung und Abstimmung der Arbeitsmittel durch Dimensionierung
- Funktionsnachweis durch Modellerprobung

---

1) Im Sprachgebrauch wird eine gemeinsame Darstellung dieser Angaben auch als 'Fahrplan' des AWT-Systems bezeichnet

- Bewertung funktionstüchtiger Varianten
- Variantenvergleich zur Bestimmung der Vorzugsvariante

gliedern.

Da Voraussetzung der Vorplanung eine präzise Aufgabenstellung ist, sollen zunächst die diese beschreibenden Größen und ihre Abhängigkeit vom jeweiligen Krankenhaus sowie die Randbedingungen beschrieben werden.

## 2.2. Ermittlung der das Objektaufkommen charakterisierenden Zahl zu transportierender Wagen

### 2.2.1. Zuordnung von Transportgutkategorien zu bestimmten Quellen und Angabe des Transportgutaufkommens

Unter der Voraussetzung, daß Transportgüter innerhalb des AWT-Systems nur mittels des Transporthilfsmittels Wagen transportiert werden, wird das Objektaufkommen durch die Zahl der zu transportierenden Wagen charakterisiert und entsprechend ist eine Zuordnung der Transportgüter zu Quellen, Senken und Wagen erforderlich.

Da der weitaus überwiegende Teil der Transportgüter zu bzw. von den Raumgruppen des Pflegebereichs (Pflegeeinheiten bzw. Stationen) transportiert wird, soll von diesen Gütern ausgegangen werden. Sie lassen sich kennzeichnen durch ihr Volumen und ihre Masse. Hinzu können bestimmte Transportvorschriften treten, wie etwa Schutz des Gutes vor übermäßiger Erschütterung, Beschleunigungen und Verzögerungen, erhöhter Diebstahlgefährdung etc..

Nach verschiedenen Angaben entfällt der weitaus größte Teil des Volumens der täglich transportierten Güter auf die Kategorie Speisen und Schmutzgeschirr, reine Wäsche und Schmutzwäsche, Müll, Arzneimittel sowie Ge- und Verbrauchsgüter /20, 43, 71, 157/. Dabei sind wesentliche Unterschiede vor allem beim Anteil von Speisen und Schmutzgeschirr bedingt durch das jeweilige Versorgungssystem vorhanden. Hierdurch kann bei bestimmten Systemen der Volumenanteil ggf. auf 1/4 des angegebenen Wertes schrumpfen /20/. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die Aufteilung des zu transportierenden Volumens.

Tab. 1: Übersicht über die Aufteilung der durchschnittlich zu transportierenden Volumina (nach /20, 43, 71, 157/)

| Transportgut                                      | Ø Volumenanteil [%] |
|---------------------------------------------------|---------------------|
| Speisen rein<br>Schmutzgeschirr                   | } 55,0              |
| Wäsche rein<br>Schmutzwäsche                      | } 20,0              |
| Müll                                              | 10,0                |
| Medikamente<br>Ge- und Verbrauchsgüter, Sonstiges | } 15,0              |
| Summe                                             | 100,0               |

Wird als Bezugsgröße für die Größe einer Raumgruppe des Pflegebereichs der dort zu pflegende Patient bzw. das planmäßig für ihn bereitstehende Bett zugrundegelegt und spricht man entsprechend von Planbetten bzw. im Sprachgebrauch von Bett, so beläuft sich das zu transportierende Volumen je Bett und Tag für die genannten Transportgüter auf etwa  $0,41$  bis  $0,51 \text{ m}^3$  /43/. Ausgehend vom Trend zu Speisenversorgungssystemen mittels fertig portionierter Speisen mit Tablettts läßt sich das tägliche Speisentransportvolumen bei drei- bis viermaliger Ver- und Entsorgung auf der Basis des EURONORM-Tabletts<sup>1)</sup> mit ca.  $0,15 \text{ m}^3$  bis  $0,24 \text{ m}^3$  je Bett abschätzen und bestätigt somit indirekt den genannten Wert.

Tatsächlich ist zwischen dem täglich anfallenden bzw. täglich benötigten Volumen und dem transportierten Volumen zu unterscheiden. Für das genannte Beispiel der zentralen Zubereitung und Portionierung frischer Speisen sind beide meist identisch. Für andere Güter ist jedoch zu berücksichtigen, daß möglicherweise (etwa für die zentrale Wäscherei) eine 5-Tage-Arbeitswoche

1) EURONORM-Tablett: Grundfläche  $570 \text{ mm} \times 375 \text{ mm}$ . Der vertikale Abstand zwischen jeweils 2 Tablettts beim Transport in Wagen wird unterschiedlich angegeben mit  $110$  bis  $140 \text{ mm}$  /50, 157, 25/

eingeführt wurde. Dann ist das in der Pflegeeinheit an 7 Tagen anfallende Volumen an 5 Tagen zu transportieren<sup>1)</sup>, gewisse Mengen sind zwischenzulagern. Zudem können sich besondere Spitzen in Abhängigkeit des Wochentages ergeben. Von daher ist zu unterscheiden zwischen dem Gut/Pflegetag, das sich auf die mit Patienten belegten Betten je Kalendertag bezieht, und dem Gut/Arbeitstag, das eine Umrechnung des erstgenannten Wertes entsprechend der Arbeitstage/Woche beinhaltet.

Entsprechend den Angaben zum Volumen ergeben sich Werte für die je Bett und Tag anfallenden Massen der Transportgüter (vgl. /27, 38, 48, 51, 53, 66, 77, 78, 85, 88, 95, 101, 113, 125, 132, 157/). Unter Berücksichtigung eines Spitzenwertes zur Berücksichtigung des erwähnten Unterschieds zwischen Kalender- und Arbeitswoche kann für die wichtigsten Transportgüter mit den in Tabelle 2 enthaltenen Werten gerechnet werden.

**Tab. 2:** Durchschnittliches Transportgutaufkommen (nach /27, 38, 48, 51, 53, 66, 77, 78, 85, 88, 95, 101, 113, 125, 132, 157/)

| Transportgut                      | Aufkommen je Bett und Arbeitstag [kg] |
|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Speisen rein (maximal/Tablett)    | 4,0                                   |
| Schmutzgeschirr (maximal/Tablett) | 3,0                                   |
| Wäsche rein                       | 4,6                                   |
| Schmutzwäsche                     | 5,8                                   |
| Müll                              | 3,0                                   |

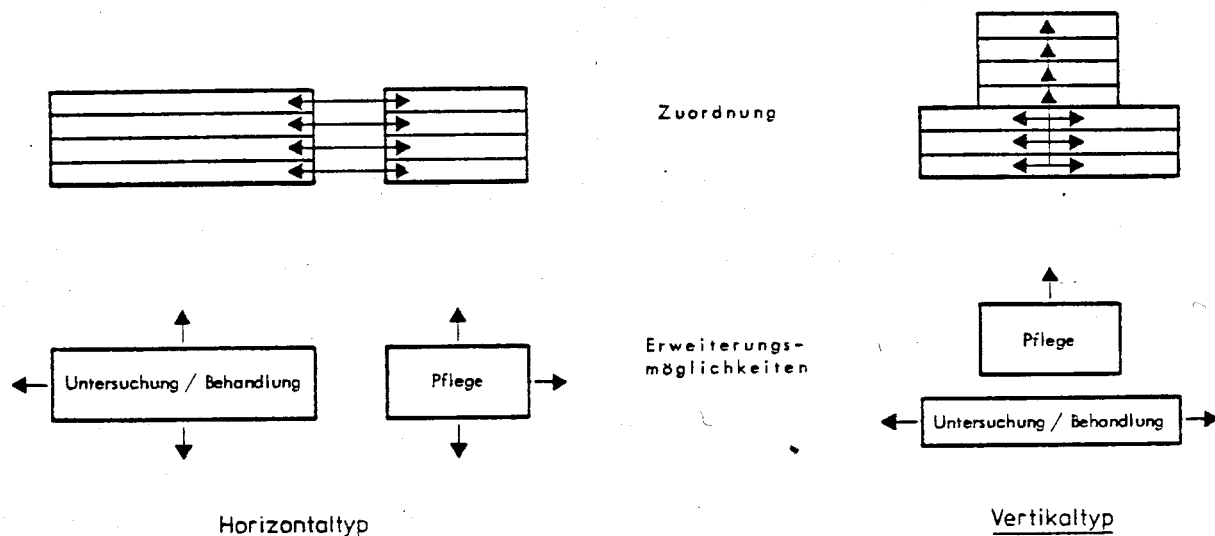
Unter Einbeziehung der der jeweiligen Quelle bzw. Senke zugeordneten Pflegegruppe läßt sich mit Hilfe der vorstehenden Anhaltswerte die jeweils zuzuordnende Masse bzw. das Volumen abschätzen. Da die nicht genannten Transportgüter vom Volumen und von der Masse her keine ausschlaggebende Rolle spielen, kann davon ausgegangen werden, daß sie selbst bei gemeinsamer Zuordnung zu einer Quelle deutlich unter dem vergleichbaren Aufkommen/Senke bei der Speisenver- und -entsorgung liegen werden. Es ist demnach eine Frage der Zweckmäßigkeit, inwieweit über das durch die angegebenen Transportgutkategorien skizzierte Maß hinaus weitere Quellen des AWT-System vorhanden sein sollen.

1) Es besteht natürlich auch die Möglichkeit, täglich zu transportieren und sprechend viele Wagen mit den betreffenden Gütern automatisch im AWT-System zwischenzulagern (vgl. etwa Planvorgaben bei /6/)

### 2.2.2. Ermittlung der Koordinaten von Quellen und Senken

Quellen und Senken sind Teil einer Krankenhausanlage. Ihre Koordinaten werden daher bestimmt von der architektonischen Gestaltung des Krankenhauses, d.h. durch die Gestaltung und Zuordnung der Bereiche Untersuchung/Behandlung, Pflege und zentralisierter Ver- und Entsorgung (vor allem des Wirtschaftsbereichs).

Für die Anordnung dieser Bereiche sind in der Bundesrepublik nahezu alle denkbaren Lösungen realisiert worden (vgl. /26, 108/). Historisch gesehen entwickelte sich in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts aus der Kenntnis der Gefährdung durch Infektionskrankheiten der Pavillontyp /87, 107/, d.h. eine Unterbringung der Patienten in getrennt voneinander angeordneten Häusern. Hieran schloß sich die Entwicklung des Korridorkrankenhauses an (etwa 1910 bis 1920). Schließlich ergab sich ein Trend zu kompakten und hohen Anlagen /107/. Hier setzte nach dem 2. Weltkrieg in der Bundesrepublik die Entwicklung zum Horizontal- und Vertikaltyp ein<sup>1)</sup>. Dabei werden Untersuchung/Behandlung und Pflege einander horizontal oder vertikal zugeordnet (vgl. Abbildung 2).



**Abb. 2:** Schematische Zuordnung von Untersuchung/Behandlung und Pflege bei Horizontal- und Vertikaltypen und Darstellung der Erweiterungsmöglichkeiten (nach /87/)

1) Eine Dokumentation von 23 Projekten (Planungen bzw. Inbetriebnahmejahre) von 1970 bis 1977 weist elfmal einen Vertikaltyp und siebenmal einen Horizontaltyp aus. Beide Typen sind also auch in jüngster Zeit vorhanden (vgl. /140, 141, 149/)

Die Gesamtfläche je Bett schwankt dabei von Projekt zu Projekt erheblich /11/. Sie nimmt tendenziell zu, je jünger das Inbetriebnahmejahr des Krankenhauses ist /26/. Dennoch ist der Anteil des Pflegebereichs - ausgedrückt in  $\text{m}^2/\text{Bett}$  - wenig Veränderungen ausgesetzt. Eine Untersuchung von 50 Krankenhäusern, die zwischen 1954 und 1971 in Betrieb genommen wurden, weist einen Flächenbedarf von etwa  $22 \text{ m}^2/\text{Bett}$  im Pflegebereich bei einer Schwankungsbreite von ca.  $\pm 30\%$  um diesen Wert aus (vgl. Angaben bei /87/). An anderer Stelle wird ein Bedarf von 25 bis  $30 \text{ m}^2/\text{Bett}$  für die Bruttogeschossfläche genannt /108/.

Im Gegensatz zu diesem verhältnismäßig gering schwankenden Flächenbedarf können bei der Vielzahl unterschiedlichster Möglichkeiten der Zuordnung von Untersuchung/Behandlung, Pflege und Wirtschaftsbereich die mittleren Weglängen für Transporte auch bei Häusern gleicher Bettenzahl stark differieren /29/.

Diese Vielfalt der Lösungsmöglichkeiten prägt auch die gegenwärtige Entwicklung der Krankenhausarchitektur.

Unter dem Einfluß von Wegegesichtspunkten wurde die bauliche Grundkonzeption teilweise auf das Transportsystem ausgerichtet /60/. Kurze Wege beinhalten eine höhere hygienische Gefährdung. Zudem ergeben sich bei größeren Krankenhäusern bei kurzen Horizontalwegen hohe Bauten und damit i.d.R. die Notwendigkeit künstlicher Be- und Entlüftung. Der Vorteil kurzer Wege kann damit teilweise wieder aufgehoben werden durch die Kosten der Klimatisierung und der Lösung der Hygieneprobleme /7, 123/.

Aus der Sicht der Betriebsorganisation entstand ausgehend von der These, eine horizontale Zuordnung der Teilbereiche von Untersuchung/Behandlung fördere die erwünschte ärztliche Teamarbeit, der Vertikaltyp mit Breitfuß /107/. Jedoch bringt ein auf einen Breitfuß zu stapelndes Bettenhaus kostenwirksame statische Probleme mit sich. Entsprechend bemüht man sich heute um technische Differenzierungen der Krankenhausbereiche nach Konstruktions- und Installationsmerkmalen /87, 130/. Solche stärker horizontal orientierte Bautypen erlauben eine intensive Verflechtung von Untersuchung/Behandlung und Pflege /87/.

Städtebauliche Gesichtspunkte führen ebenfalls zu niedrigeren Höhen und damit geringeren Stockwerkszahlen /10, 26/.

Diese Tendenzen zur Beschränkung der Bauhöhen führen zur Ausdehnung der Gebäude, die aus der Sicht des Architekten auch unter Wegegesichtspunkten dank der durch AWT-Systeme gegebenen Möglichkeiten erlaubt ist /87, 109, 136/<sup>1)</sup>. Bei Sanierungsmaßnahmen kann auch der nachträgliche Einbau eines AWT-Systems in Altbauten unter ähnlichen Aspekten gesehen werden /79/.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß in den vorhandenen und teilweise zu sanierenden Krankenhäusern sowie im Rahmen von Neubauvorhaben alle nur denkbaren horizontalen und vertikalen Zuordnungsmodelle von Untersuchung/ Behandlung und Pflege existieren bzw. zu erwarten sind.

Außer zu Senken im Pflegebereich erheben sich für die hier behandelten Transportgüter Beziehungen allenfalls zum Operationsbereich (innerhalb Untersuchung/Behandlung). Dessen Bedeutung ist sowohl vom Volumen als auch von der Zahl der Transporte her als ausgesprochen gering anzusehen (vgl. Ergebnisse der Transportanalysen bei /59/). Zudem handelt es sich bei den verwendeten Transportwegen auch oft um direkte Anbindungen der betroffenen Quellen und Senken, die das AWT-System nicht berühren.

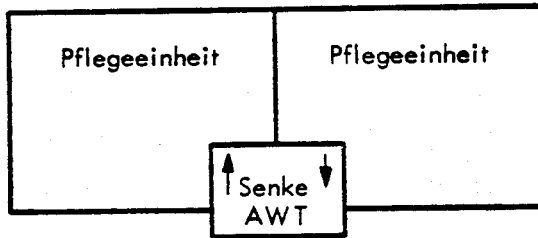
Ausschlaggebend sind daher die Beziehungen zwischen den Quellen und den Senken des Pflegebereichs. Es läßt sich sagen, daß die Gestaltung des Bettenhauses (Pflegebereich) die Koordinaten der Senken bestimmt. Das Bettenhaus selbst setzt sich aus Pflegeeinheiten (oder Pflegegruppen) zusammen. Unter diesem Begriff versteht man die 'räumliche, organisatorische und pflegerische Zusammenfassung' von meist 16 bis 20 Patienten /87/. Für Aufbau und Gliederung der Krankenhausanlage insgesamt kann man die Pflegeeinheit als dominierenden Baustein ansehen /107/, wobei man anstrebt, sowohl für Normal- als auch Intensiv- und Spezialpflege so weit als möglich einheitliche Flächen und gleiche Organisation vorzugeben, um so zu funktionell und baulich zweckmäßigen Lösungen zu kommen /104/.

---

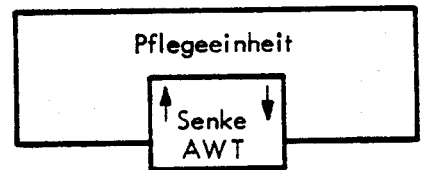
1) Der Gesichtspunkt, neben den Gütertransporten auch Transporte des Pflegepersonals als Einflußgrößen mit heranzuziehen, erscheint nicht gerechtfertigt, da diese zu 90 % in Zeiten geringerer Belastung des Pflegepersonals durchgeführt und zudem vom Personal i.d.R. als angenehme Abwechslung empfunden werden /59/



In frühen Überlegungen zur Zuordnung der Pflegeeinheiten zu den physischen Senken des AWT-Systems wurde davon ausgegangen, daß 2 Normalpflegeeinheiten mit jeweils 28 bis 34 Betten bzw. eine Einheit mit 32 Betten einer solchen Senke zuzuordnen sind /108, 133/ (vgl. Abbildung 3).



Doppelflurgrundriß



Einflurgrundriß

Abb. 3: Beispiel für die Zuordnung von Pflegeeinheiten und physischen Senken (nach /108, 133/)

Geht man davon aus, daß die Pflegeeinheiten gleiche Fläche und Abmessungen haben, was nach dem oben Gesagten zumindest den anzustrebenden Verhältnissen entspricht, so lassen sich nach dem skizzierten Schema in Abbildung 3 lediglich 1 bzw. 2 Pflegeeinheiten (= logische Senken) einer physischen Senke zuordnen. Weitere zuzuordnende Pflegeeinheiten sind von dieser Senke aus nur nach Durchlaufen der direkt angeschlossenen Pflegeeinheiten zu erreichen. Abgesehen von möglichen hygienischen Bedenken gegen die Zuordnung hintereinanderliegender Pflegeeinheiten spricht gegen eine solche Lösung, daß dann das die Wagen abholende und bringende Personal der entfernteren Pflegeeinheiten durch zusätzliche Wege im Vergleich zum Personal der direkt angeschlossenen Einheiten höher belastet wäre. Von daher erscheinen andere Anordnungen zweckmäßiger (vgl. Abbildung 4), da zu erwarten ist, daß bei Nutzung ein und derselben physischen Senke (bzw. Quelle) durch mehrere Pflegeeinheiten die anteiligen Kosten je Einheit für das AWT-System entsprechend fallen.

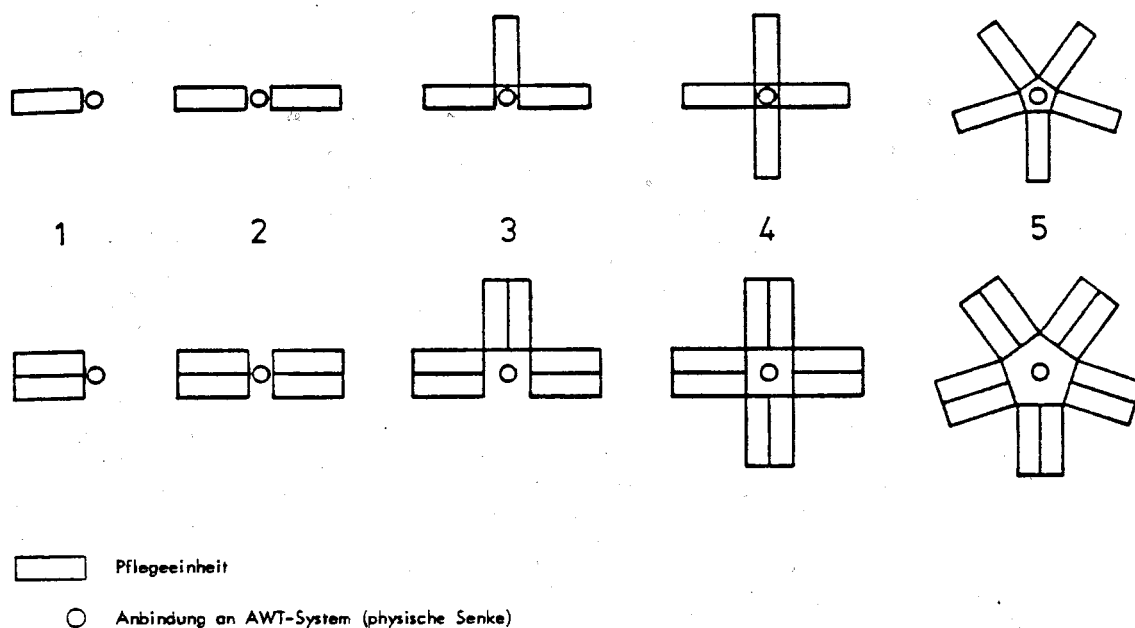


Abb. 4: Zuordnungen von Pflegeeinheiten und physischen Senken  
(vgl. etwa auch /66, 73, 147/)

Interpretiert man die einzelnen Pflegeeinheiten bzw. die Zusammenfassung von jeweils zwei parallel angeordneten Pflegeeinheiten als 'Gebäude', so lassen sich nach den Bauvorschriften maximal 4 dieser 'Gebäude' (jeweils im Winkel  $>75^\circ$  zueinander) an einer gemeinsamen Senke anschließen (vgl. /33/). Geht man von den meist üblichen rechtwinkligen Anordnungen aus, so sind demnach lediglich die Lösungen 1 bis 4 der Abbildung 4 realisierbar. Aus solchen Elementen lassen sich beliebige horizontale Strukturen von Pflegeeinheiten und damit Senken aufbauen (vgl. schematische Darstellungen solcher Strukturen im Anhang, S.144 ff.), wobei wieder nach den Bauvorschriften in Abhängigkeit der Anzahl übereinander liegender Geschosse und der Geschöbheiten Mindestabstände zwischen gegenüberliegenden Gebäudeteilen einzuhalten sind /33/. Damit ergeben sich dann auch maximal zulässige Geschöbzahlen bei der Bildung von Innenhöfen. Nach /31/ werden 3 bis maximal 4 Geschosse als sinnvoll angesehen.

Hinsichtlich der Anzahl auf einer Ebene gemeinsam anzuordnenden Pflegeeinheiten bzw. Betten gibt es wünschenswerte Größenordnungen, um so auch bei

Nacht- und Wochenenddiensten durch gemeinsame Betreuung mehrerer Pflegeeinheiten eine günstige Personalbesetzung zu erreichen /87, 108, 138/. Andererseits wird darauf hingewiesen, daß die Zusammenfassung zu vieler Einheiten ungünstig ist, da dann beispielsweise der Besucherverkehr unübersichtlich massiert würde /130/.

Die Länge und Breite einer Pflegeeinheit ist abhängig - außer von der Fläche je Bett - von der Bettenzahl je Pflegeeinheit, der Anordnung der Betten in den Krankenzimmern (etwa 2- oder 3-Bett-Tiefe), der Gestaltung als Ein- oder Zweifluranlage. Auch bei neueren Bauvorhaben variieren die Bettenzahlen/Pflegeeinheit. So werden in Projektbeschreibungen nahezu alle nur denkbaren Werte zwischen 14 und 34 Betten genannt (vgl. /11, 36, 75, 77, 87, 91, 100, 103, 138, 142, 147, 148/). Eine Auswertung von 33 ausgewählten Grundrissen weist ebenfalls darauf hin /87/, daß kaum von einheitlichen Größenordnungen ausgegangen werden kann (vgl. auch /131/).

Auch die Aufteilung einer gegebenen Bettenzahl auf mehrere Pflegegeschosse unterliegt keinerlei zwingenden Vorschriften. Dies zeigt die hierfür genannte weite Spanne von 35 bis 200 Betten je Geschoß /26/. Bei ausgedehnten Anlagen sind noch weitaus höhere Werte realisiert worden, so beispielsweise entlang einer Achse von über 300 m Länge in zwei Bettengeschossen jeweils 580 Betten (vgl. Beschreibung des Krankenhauses Kopenhagen-Hvidovre /100/).

Bei aller Vielfalt hinsichtlich der Bettenzahl, Länge und Breite einer Pflegeeinheit sowie der aus mehreren Pflegeeinheiten gebildeten horizontalen Strukturen für den Pflegebereich ist für ein gegebenes Krankenhaus i.d.R. davon auszugehen, daß für jede Pflegeebene identische horizontale Strukturen vorliegen. Allenfalls werden bei höher angeordneten Ebenen nur noch Teile der darunterliegenden Struktur verwendet (vgl. etwa den Aufbau des Planungsbeispiels, S. 85 ff.).

Damit lassen sich aufgrund der aufgeführten Möglichkeiten für die Bildung horizontaler Strukturen von Pflegeeinheiten und den Maßen der Pflegeeinheiten selbst die Koordinaten der zugehörigen Senken in einer Ebene für beliebige Strukturen ermitteln. Die Koordinaten im Raum ergeben sich durch zusätzliche Ermittlung der Höhe. Nach Auswertungen von Baubeschreibungen sind meist Höhen zwischen 3 und 4 m üblich (vgl. auch Angaben bei /131, 137/). Sofern Unter-

suchung/Behandlung und Pflege in gemeinsamen Geschossen untergebracht sind, können sich durch konstruktive und installationstechnische Gesichtspunkte andere Geschoßhöhen ergeben. Ausgehend von einer beliebigen gedachten Ebene 0 und unter Einbeziehung (beispielsweise bei Breitfuß-Typen) unterhalb der Pflegeebene liegender Geschosse für Untersuchung/Behandlung und für technische Einrichtungen können damit die Koordinaten der Senken im Raum ermittelt werden.

Für die Quellen gilt, daß der Trend dahin geht, diese weitgehend zentralisiert zusammenzufassen, entweder durch Nutzung der Untergeschosse oder in gesonderten Gebäuden /27, 108, 118/. Auch aus der Sicht des AWT-Systems wird eine solche Konzeption für günstig angesehen /28/ (vgl. hierzu auch 3.3.1., S.58 ff). Der Grund für die Zentralisierung dürfte in den außerhalb des AWT-Systems liegenden Beziehungen der Quellen untereinander sowie in der Notwendigkeit der äußeren Verkehrserschließung (LKW-Anfahrt) sowie des Fernhaltens von Geräusch- und Geruchsbelästigungen (etwa durch Müll) von anderen Krankenhausbereichen liegen. Die letztgenannten Punkte sprechen für eine örtliche Anbindung an der Peripherie der Krankenhausanlage, wie sie auch häufig bei neueren Anlagen zu finden ist (vgl. etwa /94/). Die horizontalen Entfernungen der Quellen untereinander müssen dabei nicht groß sein (vgl. die SOLL-Konzeptionen für zentralisierte Lösungen bei /59/).

Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, daß selbstverständlich andere räumliche Zuordnungen der Quellen zu den Senken denkbar sind. So gibt es beispielsweise auch die Möglichkeit, etwa die Küche statt wie soeben skizziert an der Peripherie der Krankenhausanlage unterhalb des Bettenhauses oder gar im Dachgeschoß des Bettenhauses anzuordnen. Alle diese Möglichkeiten sind realisiert worden (vgl. Beispiele bei /82/), wobei jedoch die letztgenannten Varianten selten auftreten. Da bei sanierungsbedürftigen älteren Krankenhäusern neben deren Weitläufigkeit gerade auch mangelhafte Ver- und Entsorgungskonzeptionen als charakteristisch genannt werden /86/, kann wohl auch dort davon ausgegangen werden, daß ggf. im Rahmen der Sanierung nachträglich eine räumliche Zentralisierung der Quellen angestrebt wird.

Zusammenfassend ist festzuhalten, daß die Senken sich innerhalb horizontal ausgedehnter linearer oder flächiger oder in vertikal orientierten kompakten Strukturen befinden, wobei beim Bettentrakt wegen der Einheitlichkeit der

Pflegeeinheiten von einer gewissen Regelmäßigkeit ausgegangen werden kann, während sich die Quellen räumlich zentralisiert entweder ebenerdig oder in Untergeschossen vorzugsweise an der Peripherie der Krankenhausanlage befinden.

### 2.2.3. Obere Grenzen für zulässige Transportzeiten

Für die im AWT-System zu transportierenden Güter gibt es prinzipiell keine Notwendigkeit eines besonders 'schnellen' Transports. Gründe für die zu fordernde Einhaltung bestimmter maximaler Transportzeiten können allenfalls in plötzlich auftretendem Bedarf für das betreffende Gut an der Senke oder in gutspezifischen Eigenschaften gefunden werden.

Im ersten Fall, der etwa bei Arzneimitteln auftreten könnte, wird man kritische Güter in Form von Sicherheitsbeständen in der Pflegeeinheit selbst lagern oder in extremen Fällen den Transport außerhalb des AWT-Systems durchführen /125, 128/. Der zweite Fall tritt i.d.R. bei Speisentransport auf. Hier hat sich die Konzeption der zentralen Portionierung mit Tablettensystem in Neubauten durchgesetzt, ihre Einführung als Ersatz für andere ältere Systeme wird angestrebt (beispielsweise meist auch als Voraussetzung für die angestrebte Einführung von Wahlessen /138/). Gründe hierfür mögen einmal die schon erwähnte Entlastung des Pflegepersonals von Portionierungsarbeit und Reinigungsarbeiten für Geschirr sein, zum anderen kann aber auch meist die Einhaltung ärztlich verordneter Diäten bei einer Portionierung im Pflegebereich nicht ausreichend überwacht werden /12/.

Wird von Warmverpflegung ausgegangen, so ergibt sich eine maximal zulässige Zeit zwischen der Portionierung und dem Beginn des Verzehrs durch den Patienten, damit die Speisen diesen mit ausreichender Verzehrrtemperatur erreichen. Diese Zeit unterteilt sich in die Zeit für das Portionieren, die Transportzeit zur Pflegeeinheit sowie die Verteilzeit bis zum Patienten inklusive eventueller Wartezeiten. Meist wird die insgesamt zulässige Zeit angegeben mit etwa 30 bis 45 Minuten /10, 20, 66, 79, 88, 150/. Für die Portionierung werden 0,75 Minuten /5/, für den Transport 5 bis 15 Minuten genannt /6, 20, 79/.

Analysiert man die Einzelzeiten, so ist festzustellen, daß die Portionierung selbst ausgesprochen schnell, da mechanisiert am Portionierband, erfolgt.

Die Verteilzeit innerhalb der Pflegeeinheit ist abhängig von der Größe der Pflegeeinheit, dem zum Verteilen eingesetzten Personal sowie der Schnelligkeit des Abholens der Wagen mit frischen Speisen nach deren Eintreffen an der Senke.

Genannt werden für eine Verteilung bei 28 Patienten insgesamt 7 bis 9 Minuten /88/, in einem anderen Fall bei Einsatz von 2 Pflegekräften für Verteilen und Einsammeln bei 20 Patienten je nach Mahlzeit 0,3 bis 2,1 Minuten je Tablett /83/. Auch dieser Wert ergibt eine reine Verteilzeit - bei Ansatz von 50 % des genannten Wertes und Einsatz von 2 Personen parallel - von bis zu 10,5 Minuten.

Ausgehend von einer maximal zur Verfügung stehenden Zeit von 45 Minuten ergeben sich damit unter Einbeziehung einer Portionierzeit von annähernd 1 Minute bei einer Tablettfolge von 6 Sekunden (vgl. Angaben bei /10, 28, 48, 66, 155/), Einsatz von 2 Personen zum Verteilen parallel unter Vernachlässigung von Wartezeiten für eine Pflegeeinheit mit 32 Betten eine maximal zulässige Transportzeit von etwa 24 Minuten und bei 16 Betten von etwa 34 Minuten.

Ausgehend von einer insgesamt zur Verfügung stehenden Zeit von lediglich 30 Minuten reduzieren sich diese Werte auf etwa 10 Minuten (32 Betten) bis 15 Minuten (16 Betten je Pflegeeinheit).

Unter Einbeziehung einer Verzehrzeit von etwa 17 Minuten /88/ ergibt sich zugleich eine minimale Aufenthaltszeit der Tabletts in der Pflegeeinheit von etwa 26 Minuten (16 Betten) bis 35 Minuten (32 Betten).

#### 2.2.4. Betriebszeiten

Das theoretisch denkbare Maximum der täglichen Betriebszeit für das AWT-System beträgt 24 Stunden /77, 136/. In der Praxis sind Betriebszeiten zwischen 11,5 und 19 Stunden täglich üblich (vgl. Angaben für 10 AWT-Anlagen bei /16/). Zu einem wesentlichen Teil dürften Betriebsbeginn und Betriebsende durch die Speisenverteilung für Frühstück und Abendessen bedingt sein. Hieraus ergibt sich - etwa bei Frühstück gegen ca. 7.00 Uhr und Abendessen gegen ca. 17.30 Uhr - mit dem erforderlichen Vor- und Nachlauf des AWT-Systems eine Betriebszeit in der Größenordnung von etwa 11 bis 12 Stunden.

Für die einzelnen Quellen bzw. Senken können im Hinblick auf Transportvorgänge unterschiedliche Betriebszeiten zugelassen werden, wobei diese nur dann sinnvoll sind, wenn sie nicht außerhalb der Betriebszeit des AWT-Systems liegen.

In der Regel wird sich eine zeitlich nicht gleichmäßige Belastung des AWT-Systems ergeben. Spitzenwerte werden in den meisten Systemen während der Speisenverteilung erreicht. Dies führt häufig dazu, daß Transporte für Speisen mit Vorrang durchgeführt werden. Faktisch wird dadurch in bezug auf vom AWT-System auszuführende Transporte die Betriebszeit anderer Quellen (als der Küche) für die Zeit der Speisenverteilung unterbrochen.

#### 2.2.5. Betriebsorganisation

Die Betriebsorganisation soll das AWT-System so einsetzen, daß es den Transportbedürfnissen an den Quellen und Senken voll gerecht wird und zugleich weitestgehend störungsfrei arbeitet.

Dabei gibt aus der Sicht der Nutzer des AWT-Systems die Betriebsorganisation die Häufigkeit der Transportvorgänge zwischen Quellen und Senken, die Zuordnung von Transportgütern zu Wagen und die Zuordnung von Wagen zu Quellen und Senken sowie die Art der Wagen vor.

Hinsichtlich der Häufigkeit von Transportvorgängen (Bedienhäufigkeit) ist beispielsweise bei der Speisenversorgung festzuhalten, daß neben der meist üblichen dreimaligen Verteilung durchaus auch eine Häufigkeit von vier /121/ oder gar fünf /6/ bei verschiedenen Anlagen vorgesehen wurde. Die minimal erforderliche Häufigkeit ergibt sich aus dem Fassungsvermögen eines Wagens hinsichtlich anfallender Volumina und Massen der zugeordneten Transportgüter (vgl. 2.2.1.) und der Größe der Pflegeeinheiten (vgl. 2.2.2.). Dabei sind Werte kleiner als 1 für die Bedienhäufigkeit je Tag durchaus sinnvoll. Bezogen auf eine 5-Tage-Arbeitswoche<sup>1)</sup> bedeuten etwa tägliche Häufigkeiten von 1/5, daß täglich jede 5. Pflegeeinheit bzw. eine bestimmte Pflegeeinheit alle 5 Tage ver- bzw. entsorgt wird. Eine solche Praxis erfordert ggf. entsprechend große Zwischenlagermöglichkeiten innerhalb der Pflegeeinheiten.

---

1) Am Wochenende wird meist ein reduziertes Transportprogramm 'gefahren', da verschiedene Bereiche (etwa Wäscherei, Müllumschlag) nicht arbeiten

Wegen der dann eigentlich erforderlich werdenden Überwachung der Bestände der Pflegeeinheiten (etwa wegen der Gefahr der Überalterung) wird vielfach das Austauschsystem empfohlen /10, 55, 81, 87/. Dabei dienen die Wagen zugleich als Lager innerhalb der Pflegeeinheit. In regelmäßigen Abständen werden mit bestimmten Gütern gefüllte Wagen gegen dann ganz oder teilweise entleerte Wagen der entsprechenden Güter getauscht. Eine Bestandsführung und Anforderung notwendiger Güter seitens der Pflegeeinheit entfällt ebenso wie ein Entleeren des Wagens und damit zugleich Auffüllen des Handlagers der Pflegeeinheit nach dem Auffüllsystem. Für die betroffenen Güter werden damit je Pflegeeinheit 2 Wagen beim Austausch - statt 1 Wagen beim Auffüllsystem - erforderlich /81/. Wurde beim Auffüllprinzip der entleerte Wagen beispielsweise nach dem Hin-Transport von reiner Wäsche für den Rück-Transport von Schmutzwäsche benutzt, so verdoppeln sich zugleich die Transporte beim Austauschsystem (vgl. Abbildung 5).

Im Rahmen dieser Arbeit wird daher vom Auffüllsystem ausgegangen. Bei der Zuordnung der Transportgüter zu Wagen wird zwischen Einzweck- und Mehrzweckwagen unterschieden /41/. In gewisser Hinsicht bedingt schon die Verwendung ein und desselben Wagens für den Transport reiner Wäsche und Schmutzwäsche nacheinander einen Mehrzweckwagen. Reine Wäsche wird in Fächern gestapelt, Schmutzwäsche in Säcken lose transportiert. Daher muß der entsprechende Wagen umrüstbar sein, etwa durch herausnehmbare Fachteilungen. Im weiteren Sinne bedeutet Mehrzweckwagen jedoch die zeitlich unterschiedliche Zuordnung eines Wagens zu alternativen Quellen und Transportgütern. Dadurch kann in Verbindung mit dem Auffüllprinzip die insgesamt erforderliche Wagenzahl minimiert werden. Erreicht werden kann dies jedoch nur in Verbindung mit einer geeigneten Organisation und Überwachung der Wagen nach Aufenthaltsort bzw. während eines Transports zur Senke und dem zugeordneten Transportgut. Das gegenteilige Extrem wäre eine Zuordnung von Wagen nicht nur zu Quellen, sondern zugleich zu Senken, d.h. die erforderliche Wagenzahl entspricht (beim Auffüllsystem) dem Produkt aus der Anzahl von Quellen und logischen Senken.

Die prinzipiell möglichen Zuordnungen von Wagen zu Quellen und Senken zeigt Abbildung 6.



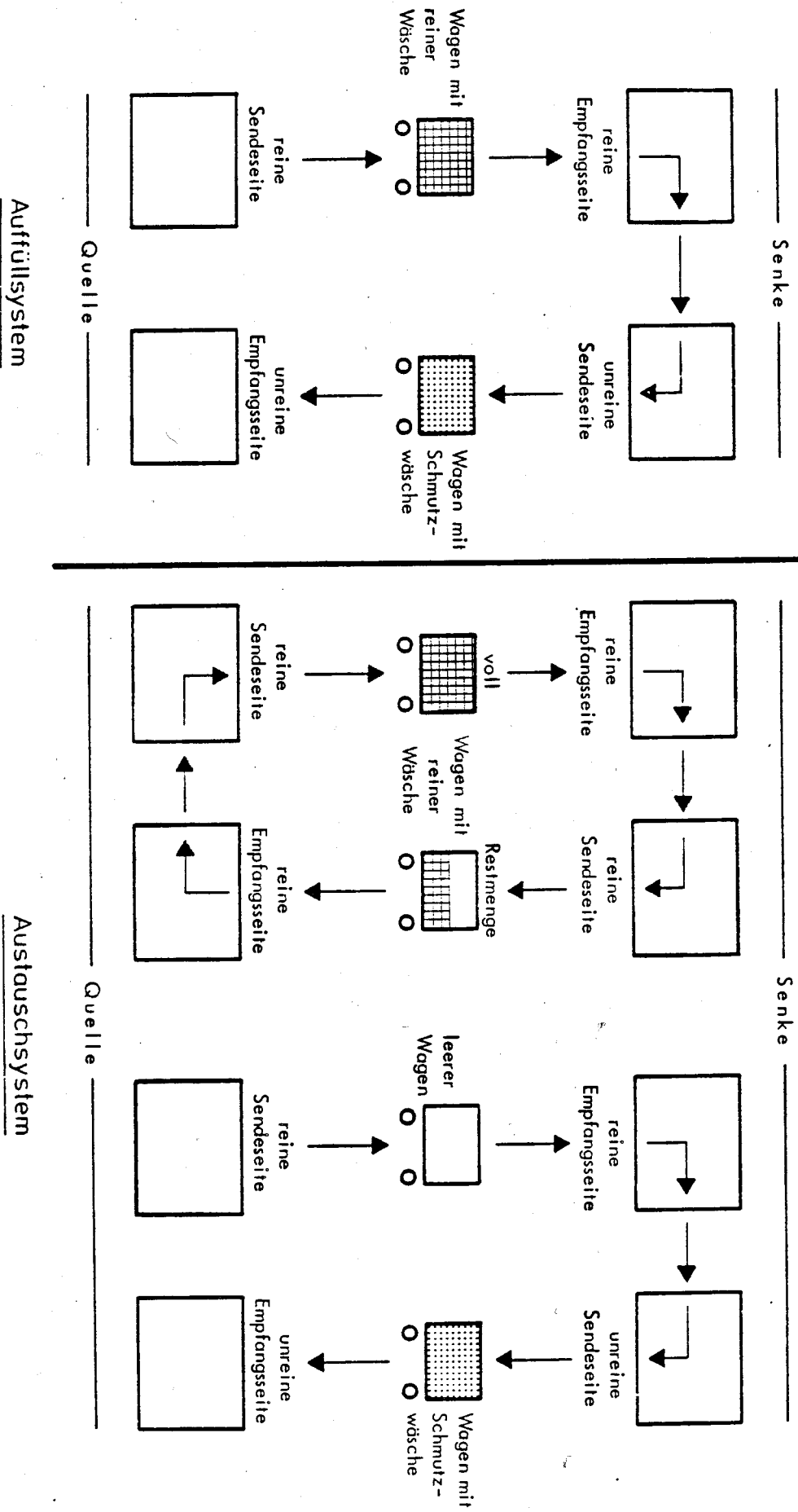


Abb. 5: Vergleich von Auffüll- und Austauschsystem (am Beispiel der Wäschever- und -entsorgung)

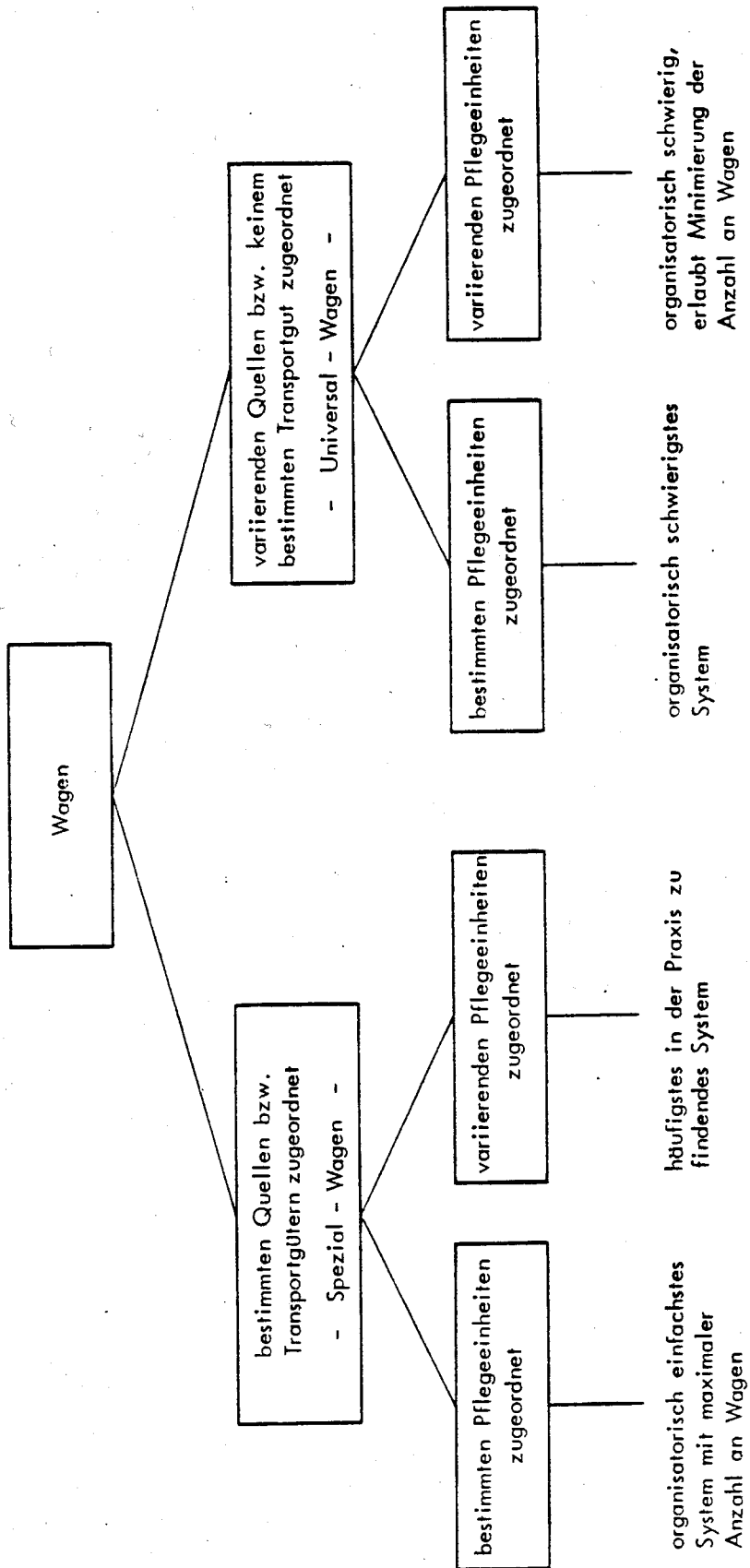


Abb. 6: Zuordnungsmöglichkeiten für Wagen, Quellen und Senken

Hinsichtlich der Art der Wagen sind prinzipiell offene und geschlossene Wagen zu unterscheiden. Hierbei sind offene Wagen entweder lediglich oben offen, d.h. entsprechend einer Art 'Wanne' gebaut (häufig bei Müll- oder Schmutzwäsche-Wagen), oder auch gleichzeitig an den Längsseiten offen und zudem statt mit durchgehenden Wänden mit Gittern versehen, was ein 'Hineinschauen' in den Wagen erlaubt. Für eine solche extrem offene Bauart wird geltend gemacht, daß arbeitstechnische Gründe, eine preiswertere Reinigung sowie geringere Aufwendungen für die Anschaffung (Preis) sich zu Gunsten des offenen Wagens auswirken /79/.

Gegen offene Wagen spricht die Erfahrung mit den bereits arbeitenden AWT-Systemen. Es kann festgestellt werden, daß dort um so mehr Bedienungsfehler auftreten, je mehr Eingriffsmöglichkeiten in das System gegeben sind. Ein typischer Bedienungsfehler besteht in der Überladung oben offener Wagen durch zu große Massen und/oder Volumina. Dies führt immer wieder zu Störungen (vgl. /16/). Zugleich können sich unerwünschte Verunreinigungen der befahrenen Wege durch herausfallendes Gut (insbesondere Müll oder Schmutzgeschirr) ergeben /41/. Weitere Argumente für den geschlossenen Wagen werden im Rahmen der Randbedingungen diskutiert (vgl. 2.3.1.).

Es wird davon ausgegangen, daß Wagen stets nur zwischen einer Quelle und einer (physischen) Senke transportiert werden. Ein Transport von (physischer) Senke zu (physischer) Senke gilt als ausgeschlossen.

Vielfach wird zwischen regelmäßig wiederkehrenden planmäßigen Transporten (programmierbaren oder Regeltransporten) und unregelmäßigen bzw. spontan auftretenden Transporten (Spontantransporten) unterschieden. Da letztere nicht geplant werden können /73/, wird - sofern solche Transporte berücksichtigt werden<sup>1)</sup> - mit Zuschlägen auf die durchschnittlichen regelmäßigen Transporte gerechnet (vgl. /66, 81/).

Es ist darauf hinzuweisen, daß zu hohe Zuschläge zu einem nicht nachgefragten Angebot an Transportleistung führen, was durch die damit verbundene Überdimensionierung kostenmäßig zusätzliche Belastungen zur Folge

---

1) Häufig werden Spontantransporte durch das Pflegepersonal ausgeführt. (Vgl. hierzu auch die Fußnote auf Seite 21)

haben kann /29, 72/. Zugleich lassen sich hohe Anteile für Spontantransporte durchaus auch als Folge einer entsprechend schlechten Betriebsorganisation interpretieren. So wird häufig als Vorteil von AWT-Systemen auch der Zwang zur Straffung der Betriebsabläufe genannt /127, 128/. Daher werden keine Zuschläge für Spontantransporte im Rahmen dieser Arbeit berücksichtigt.

## 2.3. Randbedingungen

### 2.3.1. Berücksichtigung hygienischer Anforderungen

Hygienische Maßnahmen sollen durch Erkennen, Bekämpfen und Verhüten von Krankenhausinfektionen zusätzliche gesundheitliche Schäden der Patienten verhindern. AWT-Systeme sind dabei als Einrichtungen des Krankenhauses zu sehen, die einerseits im Vergleich zu manuellen Hol- und Bringendiensten bessere hygienische Standards verwirklichen können, dies aber andererseits nur dann mit Erfolg tun, wenn sie selbst gewissen hygienischen Forderungen genügen.

Für AWT-Systeme bestehen noch keine verbindlichen hygienischen Forderungen /60/. Dies führt zu uneinheitlichen Hygienestandards bei installierten Anlagen bzw. auch zu unklaren Vorstellungen über deren hygienische Zuverlässigkeit /134/. Die Frage der Zuverlässigkeit in hygienischer Sicht wird gestellt, da Transportanlagen fast alle Bereiche des Krankenhauses miteinander verbinden und so durchaus ungewollt eine Keimverschleppung von und zu allen Bereichen durch das AWT-System erfolgen kann /123/. Andererseits bietet gerade ein AWT-System die Möglichkeit, hygienische Forderungen technisch zu lösen und nicht der Disziplin und dem Verständnis von Personen zu überlassen /17/.

Aus der Kenntnis einschlägiger Veröffentlichungen (vgl. hierzu /17, 18, 40, 41/) und in jüngerer Zeit realisierter AWT-Systeme dürfen die folgenden Punkte als ausreichende Auflistung zu erfüllender Forderungen angesehen werden:

- geschlossene Wagen
- bodenfreie Übernahme, Übergabe und Transport von Wagen
- nach Möglichkeit nur punktuelle Verbindungen von Wagen und Transportmittel

- eigene Trasse, d.h. keine Benutzung vorhandener Gänge und Flure
- getrennte Aufzüge für reine und unreine Wagen oder auch gemeinsame Aufzüge mit einer Doppelkabine mit Trennwand (vgl. hierzu auch /67/)
- für sich räumlich abgeschlossene Empfangsstationen für reine und entsprechende Versandstationen für unreine Wagen an den Senken
- entsprechend an den Quellen getrennte Empfangsstationen für unreine und Versandstationen für reine Wagen (vgl. Abbildung 7)
- vor dem Übergang von der unreinen zur reinen Seite einer Quelle sind die Wagen zu reinigen und zu desinfizieren (vgl. Abbildung 7)
- periodische Reinigung und Desinfektion aller anderen beweglichen und ortsfesten Teile des AWT-Systems
- eine Verwendung des gleichen Wagens für reine Erst-Transporte und unreine Rück-Transporte zur Quelle (etwa Wäsche-Schmutzwäsche, Speisen-Schmutzgeschirr) wird zugelassen.

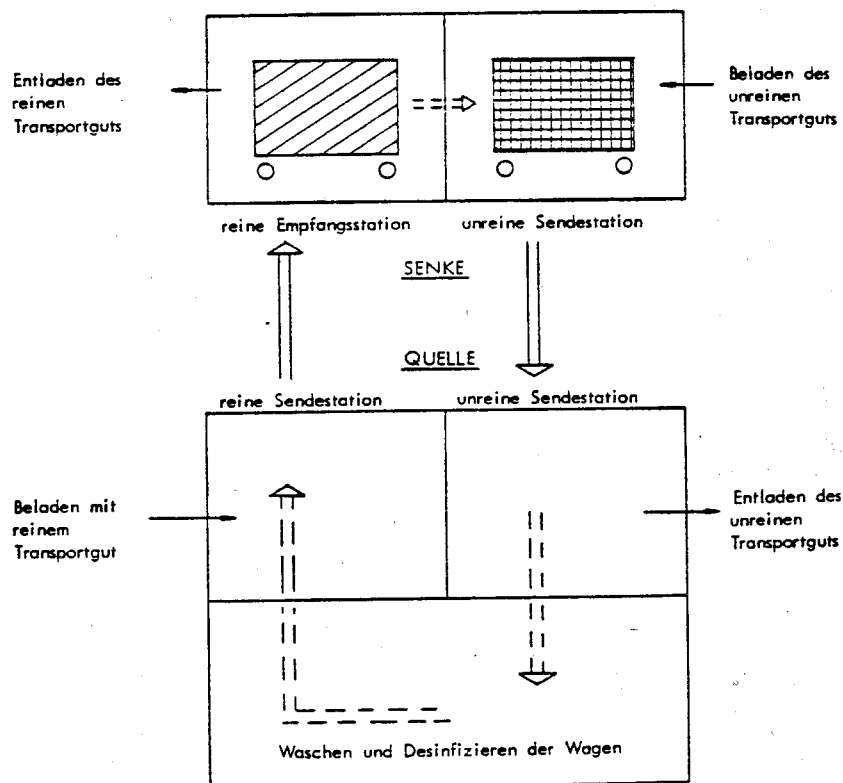


Abb. 7: Transportablauf unter Berücksichtigung hygienischer Forderungen

### 2.3.2. Wegeführung

Entsprechend der Hilfsfunktion, die das AWT-System erfüllt (vgl. 1.1.), sollte sich die Führung der vom System benutzten Wege an der Gestaltung des Baukörpers der Krankenhausanlage orientieren. Da aus hygienischen und sonstigen Gründen ein eigenes Wegesystem zu wählen ist, sollte dieses die anderen Verkehrswege und Räume so wenig wie möglich beeinträchtigen.

Es ergibt sich eine horizontale und vertikale Wegeführung. Da üblicherweise (vgl. 2.2.2.) die Pflegeeinheiten aus gleichartigen vertikal übereinander stapelbaren Strukturen bestehen, liegen Senken von den Koordinaten her an gemeinsamen Vertikalen. Diese Vertikalen lassen sich als Schächte ausbilden, in denen Wagen mittels Aufzügen oder anderer vertikal transportierender Arbeitsmittel zu und von den Empfangs- und Sendestationen der Senken gelangen, die zweckmäßigerweise einen gemeinsamen Schacht benutzen. Die Vertikalen selbst sind untereinander durch horizontale Wege verbunden. Prinzipiell sind horizontale Verbindungen in mehreren übereinander liegenden Ebenen denkbar.

Horizontale Wege innerhalb von Pflegeeinheiten würden jedoch die dort vorhandenen Räume voneinander trennen. Deshalb bietet es sich an, eigene 'Geschosse' zu verwenden. Es kann sich hier um Installationsgeschosse zwischen jeweils 2 Geschossen des Pflegebereichs handeln /87/. Üblich ist die Verwendung von Untergeschossen, in denen meistens technische Installationen untergebracht werden<sup>1)</sup>. An dieses horizontale Wegesystem sind auch die Quellen anzuschließen. Dies erfolgt entweder - falls erforderlich - durch entsprechende Vertikalen (die natürlich u.U. auch mit Vertikalen des Pflegebereichs zusammenfallen können - vgl. Krankenhausmodell von /98/) oder - falls die Sende- und Empfangsstationen der Quellen sich auf dem Niveau des horizontalen Wegesystems befinden - direkt. Die letztere Lösung bietet Vorteile, da weniger Arbeitsmittel für Vertikaltransporte einzusetzen sind und zugleich die an Quellen vergleichsweise hohe Belastung (von vielen Senken kommen Wagen zu einer Quelle bzw. umgekehrt gehen von einer Quelle viele

---

1) Es sind auch solche Technikgeschosse bekannt, die etwa bei Breitfußtypen zwischen Untersuchung/Behandlung und Pflege liegen oder auch als oberstes Geschoß angeordnete Horizontalsysteme

Wagen zu unterschiedlichen Senken) vertikaler Systemteile entfällt<sup>1)</sup>.  
Wegen der Berücksichtigung der anderweitig zu nutzenden Räume in der Ebene des horizontalen Wegenetzes setzt sich dieses i.d.R. prinzipiell aus rechtwinklig aneinander anschließende und durch Kurven verbundene Wegstrecken zusammen.

In Verbindung mit den Forderungen der Hygiene sind damit die wesentlichen Restriktionen der Führung des Wegenetzes genannt.

---

1) Auch wegen der äußeren Verkehrsanbindung (LKW-Anfahrt) liegen Quellen zweckmäßigerweise auf niedrigem Niveau

### 3. Auswahl und Dimensionierung von AWT-Systemen im Rahmen der Vorplanung

#### 3.1. Wahl technologischer Varianten und Verknüpfung der Arbeitsmittel

Die vorliegende Arbeit orientiert sich ausschließlich an bestimmten Wagentransportsystemen (vgl. 1.3.) und geht dabei von den am Markt angebotenen Technologien aus. Abgesehen von den Unterlagen einzelner Hersteller liegen umfangreiche Beschreibungen dieser Technologien vor (vgl. /66, 69/). Es genügt daher, die Unterschiede zwischen den Technologien insoweit aufzuzeigen, als sie für die spätere Dimensionierung von Bedeutung sein könnten. Um dabei einheitliche Begriffe zu verwenden, wird für das Arbeitsmittel, das den Wagen zumindest im horizontalen Wegenetz über größere Entfernungen transportiert, die Bezeichnung Fahrwerk gewählt, wobei hierunter in Abhängigkeit von der Technologie Hängebahn-Katze, Unterfahrschlepper, Schleppfahrzeug, Elektro-Flurförderer, Flurschlepper etc. zu verstehen sind. Bei den Transporthilfsmitteln handelt es sich um Wagen und bei ausschließlich vertikal transportierenden Arbeitsmitteln um Aufzüge. Anlagen, die Wagen lediglich schleppend (mit Bodenberührung der Räder des Wagens) transportieren, werden wegen hygienischer Bedenken (vgl. 2.3.1.) nicht berücksichtigt.

##### 3.1.1. Systeme mit den Arbeitsmitteln Hängebahn-Fahrwerke und Aufzüge

Die zu transportierenden Wagen werden in der Regel auf dem Boden stehend (d.h. mit Bodenberührung der Räder) be- bzw. entladen. Während des Transports durch das Fahrwerk haben sie keine Bodenberührung. Die dafür notwendige Überwindung einer Höhendifferenz erfolgt durch

- mit dem Fahrwerk verbundene Hub- und Senkeinrichtungen
- ortsfest installierte Hub- und Senkeinrichtungen oder
- spezielle Übergabeeinrichtungen, die zugleich den Transport des Wagens von und zum Bereitstellplatz an Quelle bzw. Senke als auch die Hub- bzw. Senkbewegung ausführen (Verschiebewagen mit Hubeinrichtung)

Der Wagen wird zur Übernahme durch das System bzw. zur Entnahme aus diesem an bestimmten Plätzen bereitgestellt. Zur Verbindung dieser Plätze mit dem horizontalen Wegenetz, d.h. dem Transport von und zum Fahrwerk dienen i.d.R.



besondere automatische Förderer oder der schon erwähnte Verschiebewagen (mit Hubeinrichtung). Entsprechende Einrichtungen verbinden die Bereitstellplätze mit dem vertikalen Wegenetz (den Aufzügen), wobei in den Aufzugskabinen gleiche Förderer bzw. ein Verschiebewagen vorhanden sind. Ebenso wird die Verbindung zwischen horizontalem und vertikalem Wegenetz, d.h. zwischen Fahrwerk und Aufzug, hergestellt.

Die Förderer dienen dabei nicht nur als Verbindungselement, sondern zugleich als Puffer, der zeitliche Differenzen zwischen Bereitstellen bzw. Entnehmen von Wagen an der Schnittstelle zwischen System und Umgebung und der Übernahme bzw. Übergabe durch Fahrwerke und Aufzüge ausgleicht. Innerhalb des Systems werden ähnliche Puffer zwischen horizontalem und vertikalem Wegenetz gebildet. Auch Verschiebewagen übernehmen indirekt eine solche Pufferfunktion, sofern sie mehr als nur jeweils einen Bereitstellplatz bedienen (vgl. Abbildungen 8 bis 10).

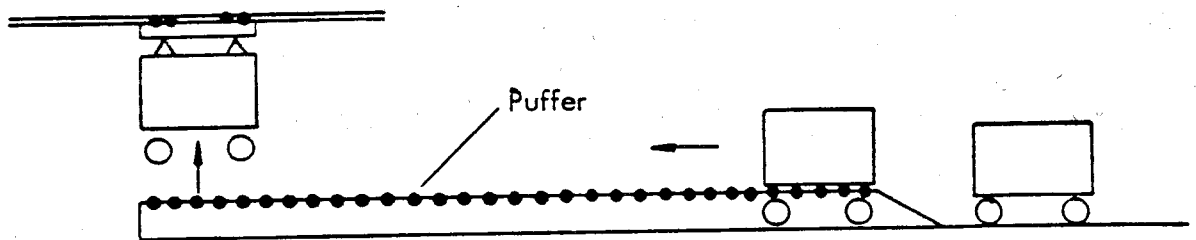


Abb. 8: Puffer bei Übergabe Sendestation - Fahrwerk

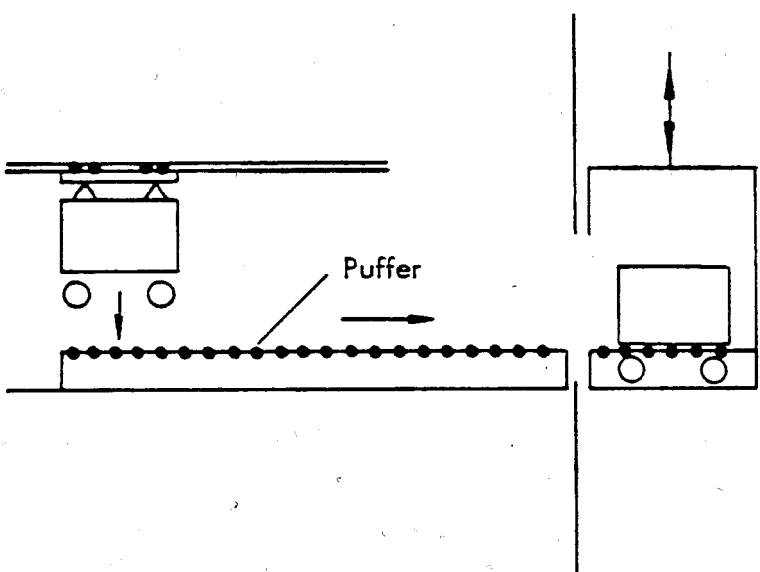


Abb. 9: Puffer bei Übergabe zwischen horizontalem und vertikalem Netz

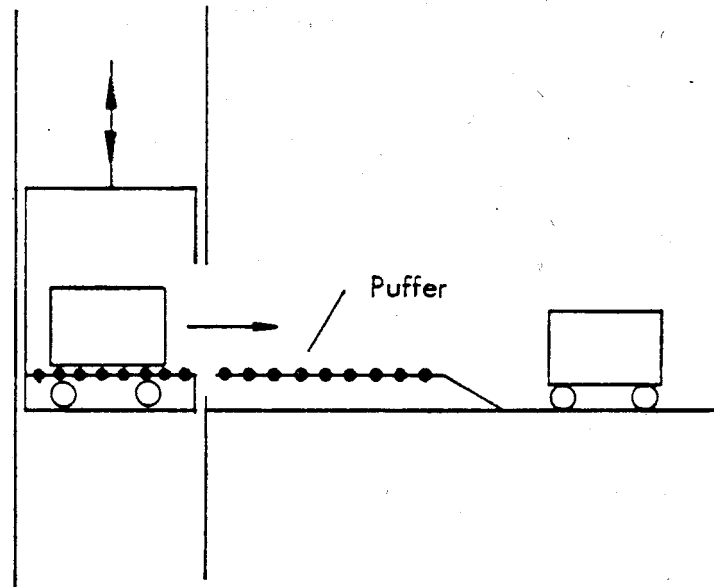
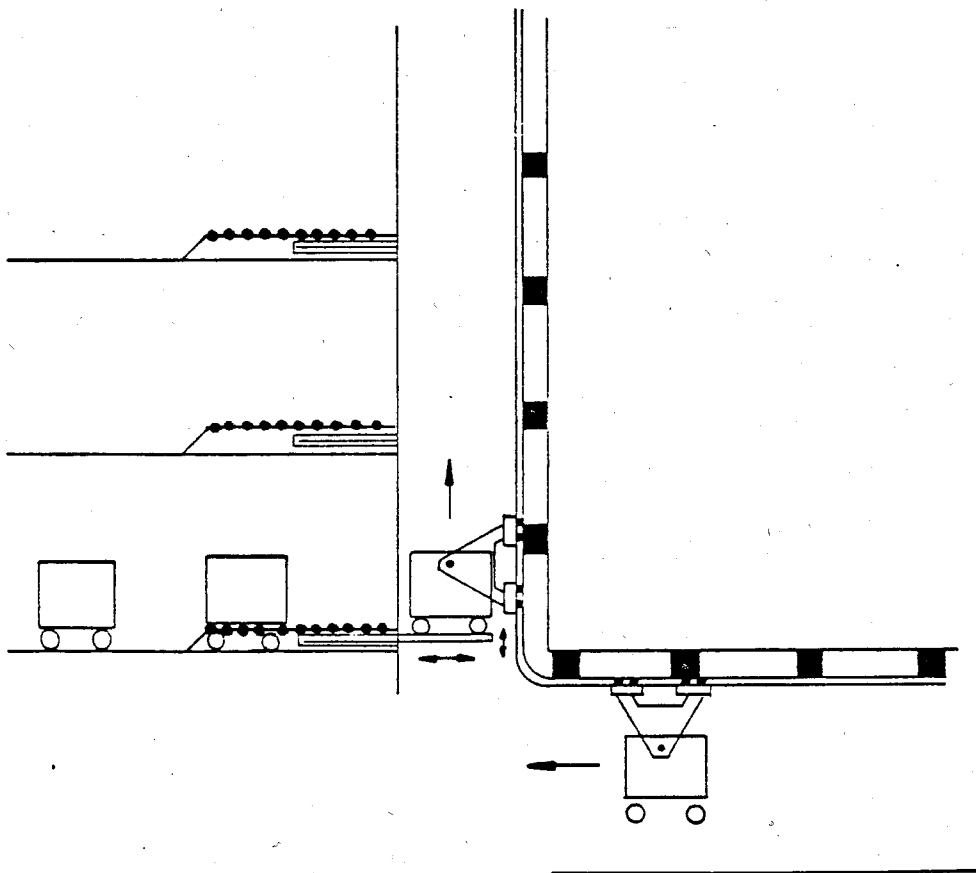


Abb. 10: Puffer bei Übergabe Aufzug-Empfangsstation

### 3.1.2. Systeme mit dem Arbeitsmittel kontinuierlich horizontal und vertikal fahrende Hängebahn-Fahrwerke

Im Gegensatz zu den vorher beschriebenen Systemen entfallen Aufzüge für den Vertikaltransport, da das Fahrwerk sowohl horizontal als auch vertikal fahren kann. Damit sind zugleich keine Förderer zur Verbindung von horizontalem und vertikalem Wegenetz erforderlich. Bei Übernahme bzw. Übergabe im vertikalen Netz werden spezielle Teleskoptische mit Hubeinrichtung verwendet (vgl. Abbildung 11).



**Abb. 11:** Schematische Darstellung von Sende-, und Empfangsstationen an Vertikalen

### 3.1.3. Systeme mit den Arbeitsmitteln Flurförder-Fahrwerke und Aufzüge

Es handelt sich um automatische induktiv gesteuerte batterie-elektrisch betriebene Fahrwerke. Sie sind entweder mit einer Hubeinrichtung versehen und unterfahren den Wagen, um ihn dann für den Transport anzuheben oder sie übernehmen mittels eines in das Fahrwerk integrierten Förderers den

Wagen. In den erstgenannten Fällen sind Förderer zur Verbindung der Bereitstellplätze und der Fahrwerke nicht erforderlich. Im zweiten Fall wird ein Förderer verwendet, der den Wagen zugleich auf bodenfreies Niveau zieht und dann an den Förderer des Fahrwerks übergibt (bzw. den in umgekehrter Richtung ablaufenden Prozeß realisiert).

Für den Vertikaltransport fahren die Fahrwerke entweder in die Aufzüge ein oder es werden Förderer im Aufzug bzw. der schon erwähnte Verschiebewagen verwendet (vgl. Abbildungen 12 bis 14).

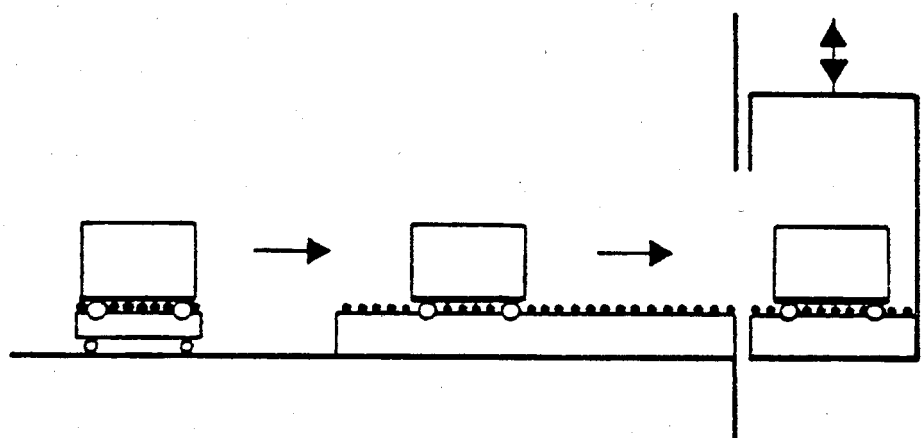


Abb. 12: Flurfördersystem mit Stetigförderern für Übergabe an Aufzüge

Da die Batteriekapazität der Fahrwerke und damit deren Arbeitsmöglichkeiten beschränkt sind, werden die Fahrwerke mit einer entsprechenden Überwachung der Batteriekapazität ausgerüstet und fahren bei Unterschreiten einer bestimmten Rest-

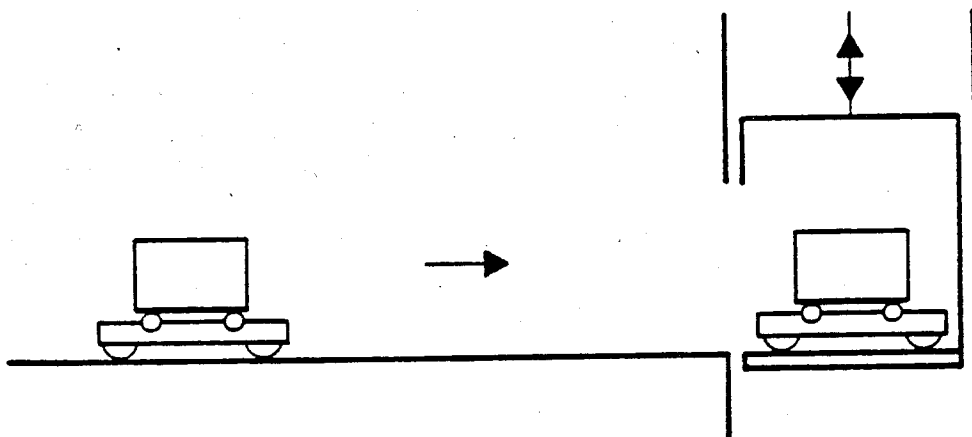


Abb. 13: Flurförderer fährt mit Wagen in Aufzug ein

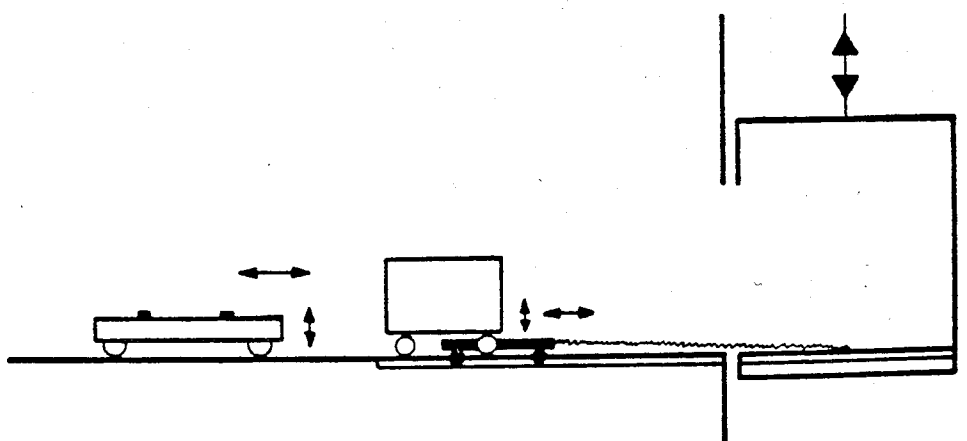


Abb. 14: Verschiebehubwagen holt von Flurförderer abgesetzten Wagen in den Aufzug

kapazität der Batterie automatisch Ladestationen an. Während des Aufladens der Batterie stehen sie dann für die Durchführung von Transporten nicht zur Verfügung.

### 3.2. Dimensionierung der Arbeitsmittel

#### 3.2.1. Grundlagen der Dimensionierung

Die Überlegungen zur Dimensionierung sollen an einem komplexen Beispiel, der Speiserver- und -entsorgung dargestellt werden. Es wird dabei von der zentralen Portionierung warmer Speisen ausgegangen. Die Arbeitsbedingungen bzw. die Betriebsorganisation außerhalb des AWT-Systems geben dabei die Transportaufgabe vor.

So wird beispielsweise verlangt, daß

- innerhalb einer bestimmten Zeit  $T_{\text{offen}}$  alle Pflegeeinheiten mit jeweils einem Wagen versorgt werden
- der Zeitbedarf für den Transport eines Wagens zu einer beliebigen Pflegeeinheit einen bestimmten Grenzwert  $T_{\text{Hin}_{\text{max}}}$  nicht überschreiten darf
- jeder Wagen für eine minimale Aufenthaltszeit  $T_{\text{Auf}}$  in der Pflege-  
stelle verbleibt
- alle Wagen innerhalb der Zeit  $T_{\text{offen}}$  wieder von den Pflegeeinheiten zur Küche zurückkehren

Im folgenden wird zunächst ein AWT-System, bestehend aus Hängbahn und Aufzügen, zugrundegelegt. Je Pflegeeinheit gibt es einen Wagen für den Speisentransport. Die Anzahl der Wagen sei  $N_W$ . Die Pflegeeinheiten seien voll mit Patienten belegt.

Ausgehend von der mittleren zeitlichen Tablettfolge am Portionierband  $T_{\text{Tabl}}$  und der Anzahl Betten/Pflegeeinheit  $n_{\text{Pf}}$  ergibt sich damit bei lediglich einem vorhandenen bzw. eingesetzten Portionierband die Abfertigungszeit je Wagen, d.h. die Zeit, in der der Wagen mit Speisetabletts gefüllt wird, mit

$$T_{\text{Abf}} = n_{\text{Pf}} \cdot T_{\text{Tabl}}$$

Diese Zeit stellt zugleich den zeitlichen Abstand, in dem die Wagen die Küche verlassen, die Abfertigungsrate, dar.

Bezeichnet man die Zeit, die ein Fahrwerk benötigt, um einen Wagen an der Küche zu übernehmen, zum Übergabepunkt an einen beliebigen Aufzug zu transportieren, dort den Wagen abzugeben und in die Übernahmeposition an der Küche zurückzukehren, mit mittlerer Einzelspielzeit  $T_E$ , so läßt sich die notwendige Anzahl von Fahrwerken für die Verteilung überschlägig berechnen mit

$$N_{FW} \geq \frac{T_E}{T_{Abf}}$$

$N_{FW}$  ist ganzzahlig und daher ggf. aufzurunden. Es gelten aus naheliegenden Gründen die Restriktionen

$$N_{FW} \geq 1 \quad \text{und} \quad N_{FW} \leq N_W$$

Entsprechend der Abfertigungsrate  $T_{Abf}$  in der Küche ergibt sich eine Eintreffrate  $T_{Ein}$  an den Aufzügen. Durch geeignete Maßnahmen, wie Einsatz entsprechender Strategien bei der Steuerung des Systems, kann - sofern es mehr als nur 1 Vertikale im System gibt - vermieden werden, daß die Wagen in den Abständen entsprechend der Abfertigungsrate ( $T_{Ein} = T_{Abf}$ ) an ein und derselben Vertikale eintreffen. Es gilt dann  $T_{Ein} > T_{Abf}$ . Bei völliger Gleichverteilung der Wagen entsprechend der Anzahl der jeweils an einer Vertikalen angebundenen Pflegeeinheiten ergibt sich im idealen Fall, bezogen auf eine Vertikale  $i$  mit  $n_i$  angebundenen Pflegeeinheiten, zu der also der Anteil  $n_i/N_W$  der insgesamt verschickten Wagen  $N_W$  transportiert wird, daß diese Wagen dort im Abstand

$$T_{Ein}(i) = \frac{N_W}{n_i} T_{Abf}$$

eintreffen. Ist die mittlere Einzelspielzeit des an dieser Vertikalen befindlichen Aufzuges  $T_{E_{Aufz}} \leq T_{Ein}(i)$ , so reicht ein Aufzug für den Vertikaltransport (in einer Richtung) aus. Wird die vorstehende Bedingung nicht erfüllt, so sind entsprechend mehr Aufzüge an der betreffenden Vertikale vorzusehen. Die Anzahl der in einer Richtung benötigten Aufzüge  $N'_{Aufz}$  ergibt sich demnach analog der Berechnung der Fahrwerksanzahl zu

$$N'_{Aufz} \geq \frac{T_{E_{Aufz}}}{T_{Ein}} \quad \text{bzw.} \quad N'_{Aufz}(i) \geq \frac{T_{E_{Aufz}}(i)}{T_{Ein}(i)}$$

$N_{\text{Aufz}}^i$  ist ganzzahlig und daher ggf. aufzurunden. Die Anzahl der insgesamt an der Vertikalen  $i$  erforderlichen reinen und unreinen Aufzüge, d.h. der aufwärts und abwärts transportierenden Aufzüge ergibt sich dann zu  $N_{\text{Aufz}}(i) = 2 N_{\text{Aufz}}^i(i)$ .

Für die Berechnung der Anzahl Fahrwerke und Aufzüge spielen die Transportzeiten auf den Förderern an Quellen und Senken bzw. zwischen Fahrwerken und Aufzügen keine Rolle. Sie sind wichtig für die Überprüfung, ob mit den berechneten Größen alle Bedingungen erfüllt werden. Da jeder Wagen diese Förderer, sofern sie im System erforderlich sind, benutzt, kann die Summe der entsprechenden Transportzeitanteile je Transport als konstant angesehen werden mit  $T_{\text{Förderer}} = \text{const.}$ . Diese Betrachtung gilt jedoch nur dann, sofern nicht solche Zeiten in den Spielzeiten der Fahrwerke und Aufzüge enthalten sind.

Hinsichtlich der Restriktionen muß damit unter Einbeziehung der Größen

$T_{E_{\text{Hin}}}$  = mittlere Transportzeit eines Wagens durch ein Fahrwerk von der Küche zu einem Aufzug

$T_{E_{\text{Aufz}_{\text{Hin}}}}$  = mittlere Transportzeit eines Wagens durch einen Aufzug von der Übernahme bis zu einer Pflegeeinheit

bzw. bezogen auf eine Vertikale  $i$  entsprechend  $T_{E_{\text{Hin}}}(i)$  und  $T_{E_{\text{Aufz}_{\text{Hin}}}}(i)$  gelten

$$\text{Max} \left\{ T_{E_{\text{Hin}}}(i) + T_{E_{\text{Aufz}_{\text{Hin}}}}(i) \right\} + T_{\text{Förderer}} \leq T_{\text{Hin}_{\text{max}}} \\ \text{für alle } i$$

Diese Bedingung beschreibt die Einhaltung einer maximal zulässigen Hin-Transportzeit. Ferner muß gelten

$$(N_W - 1) T_{\text{Abf}} + 2 T_{\text{Förderer}} + 2 T_E + 2 T_{E_{\text{Aufz}}} + T_{\text{Auf}} \leq T_{\text{offen}}$$

Diese Bedingung beschreibt die Einhaltung einer maximal zulässigen Zeit für den Versand aller Wagen, eines Mindestaufenthalts je Wagen in der Pflegeeinheit und der Rückkehr aller Wagen zur Quelle. Dabei ist insofern eine (zulässige) Vereinfachung in dieser Bedingung enthalten, als gesetzt wurde



$$\overline{T_{E_{\text{Hin}}} + T_{E_{\text{Rück}}}} = 2 T_E \text{ sowie}$$

$$\overline{T_{E_{\text{Aufz}_{\text{Hin}}}} + T_{E_{\text{Aufz}_{\text{Rück}}}}} = 2 T_{E_{\text{Aufz}}}$$

Der Index 'Rück' weist dabei auf die Rück-Transportzeit hin.

Sind beide Bedingungen erfüllt, so ist die Anzahl der zur Speisenverteilung erforderlichen Fahrwerke und Aufzüge bestimmt.

Ist die Bedingung der Einhaltung der maximal zulässigen Hin-Transportzeit nicht erfüllt, so kann das betreffende AWT-System nicht als den Anforderungen genügend angesehen werden (vgl. hierzu auch 5.3.3., S. 115).

Sofern die zweite Bedingung (Einhaltung der Zeit  $T_{\text{offen}}$ ) nicht erfüllt ist, wird versucht, durch Einführung weiterer Portionierbänder die Abfertigungsrate  $T_{\text{Abf}}$  zu verringern.

Tatsächlich gilt bei  $j$  parallel arbeitenden Portionierbändern

$$T_{\text{Abf}} = \frac{n_{\text{pf}} T_{\text{Tabl}}}{j} \quad \text{für } j = 1, 2, 3, \dots$$

Der bislang behandelte Fall galt demnach lediglich für  $j = 1$ . Für  $j = 2, 3, \dots$  ändern sich u.U. auch  $N_{\text{FW}}$ ,  $T_{\text{Ein}}$  und natürlich entsprechend der in der zweiten Bedingung enthaltene Ausdruck  $(N_{\text{W}} - 1) T_{\text{Abf}}$  in seinem Wert. Andererseits sollte  $T_{\text{Abf}}$  gewisse Mindestwerte nicht unterschreiten. AWT-Systeme arbeiten üblicherweise mit einer Blockstreckensicherung (vgl. /4, 121/), d.h. zwischen jeweils 2 Fahrwerken liegt aus Sicherheitsgründen ein freier Streckenabschnitt (Blockstrecke). Entsprechend der zum Durchfahren dieses Streckenabschnittes erforderlichen Zeit kann man die Blockstrecke auch in Zeiteinheiten ausdrücken. Es ist einleuchtend, daß die Abfertigungsrate größer oder gleich diesem Blockabstand sein sollte<sup>1)</sup>, da sonst das AWT-System mit Sicherheit nicht funktionsfähig ist.

Werden alle genannten Bedingungen erfüllt, kann geprüft werden, ob Möglichkeiten zur Verbesserung des Systems gegeben sind. Hier bieten sich

---

1) übliche Werte für einen Blockabstand sind 15 [s] oder mehr (vgl. /121/)

zunächst kombinierte Spiele für Fahrwerke und Aufzüge an. Sofern noch Wagen von der Quelle verschickt werden, wenn bereits andere Wagen von Senken zurückgeholt werden können, sind in bezug auf Fahrwerke kombinierte Spiele möglich. Mit kombiniertem Spiel wird dabei die Kombination eines Transports eines Wagens zu einer Pflegeeinheit in Verbindung mit dem darauffolgenden Rück-Transport eines Wagens von einer anderen Pflegeeinheit durch ein Fahrwerk bezeichnet. Sofern kombinierte Spiele möglich sind, erhöht sich die Fahrwerkszahl  $N_{FW}$  dann nicht, wenn gilt

$$N_{FW} \geq \frac{T_K}{T_{Abf}} \quad \text{mit } T_K = \text{mittlerer kombinierter Spielzeit eines Fahrwerks}$$

Bezeichnet man aus Vereinfachungsgründen  $T_{E_{Aufz_{Hin}}} + T_{Förderer} + T_{Auf}$  mit  $T'_{Auf}$ , so sind kombinierte Spiele dann möglich, wenn gilt

$$(N_W - 1) T_{Abf} - T'_{Auf} \geq T_{Abf}$$

Die Anzahl kombinierter Spiele (bei unverändertem  $N_{FW}$ ) ergibt sich dann zu

$$N_k \leq \frac{(N_W - 1) T_{Abf} - T'_{Auf}}{T_{Abf}}$$

Diese Zusammenhänge sind schematisch in den Abbildungen 15 und 16 dargestellt.

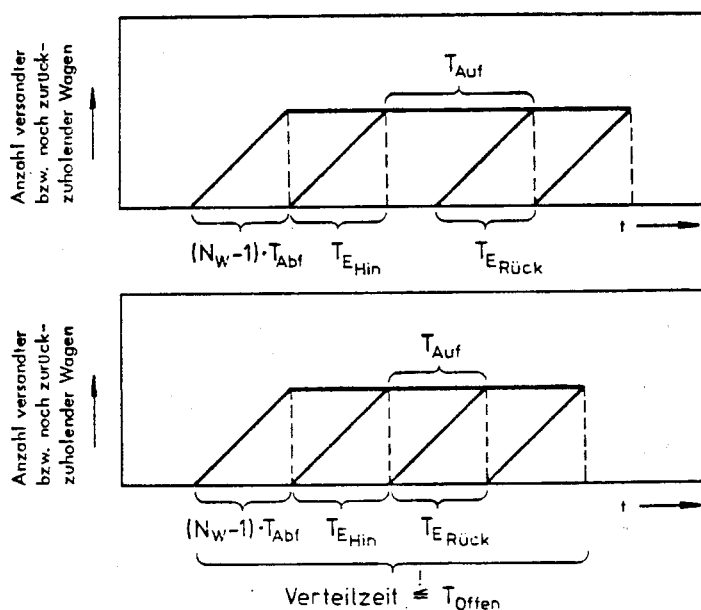


Abb. 15: Transportaufgabe, die nur Einzelspiele erlaubt (schematische Darstellung)

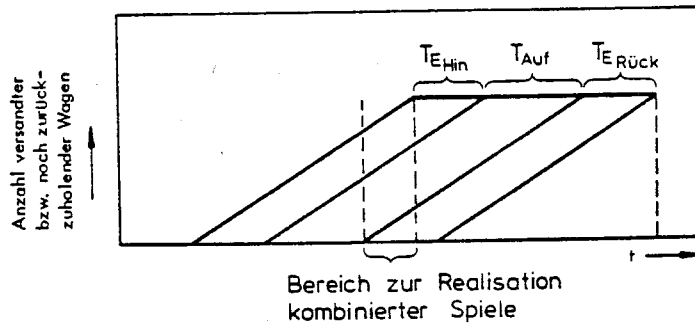


Abb. 16: Transportaufgabe, die Einzelspiele und kombinierte Spiele zuläßt (schematische Darstellung)

Die Anzahl Einzelspiele innerhalb der Zeit  $T_{\text{offen}}$  ergibt sich dann zu

$$N_E = 2 (N_W - N_k)$$

Damit läßt sich die mittlere zeitliche Auslastung eines Fahrwerks innerhalb des Zeitraums  $T_{\text{offen}}$  berechnen zu (vgl. jedoch auch 3.2.4.)

$$\eta_{\text{FW}} = \frac{N_E T_E + N_k T_k}{T_{\text{offen}} N_{\text{FW}}} \cdot 100 [\%]$$

Werden analog kombinierte Spiele für Aufzüge gebildet, so sind diese nur sinnvoll in Verbindung mit Doppelkabinenaufzügen (vgl. hygienische Gesichtspunkte bei 2.3.1.).

Wurde etwa als Ergebnis  $N_{\text{Aufz}}(i) = 1$  errechnet bzw.  $N'_{\text{Aufz}}(i) = 1$ , und gilt ebenfalls (analog der Rechnung bei Fahrwerken).

$$\frac{T_{k_{\text{Aufz}}}(i)}{T_{\text{Ein}}(i)} \leq 1,$$

so kann an der betreffenden Vertikale  $i$  an Stelle von 2 Einzelkabinenaufzügen (reiner und unreiner Aufzug) problemlos ein Doppelkabinenaufzug verwendet werden. Ebenso kann natürlich in analoger Weise jede gerade Anzahl  $N_{\text{Aufz}}(i)$  auf möglichen Ersatz durch die halbe Anzahl Doppelkabinenaufzüge überprüft werden.

### 3.2.2. Verfahren zur Berechnung von Spielzeiten

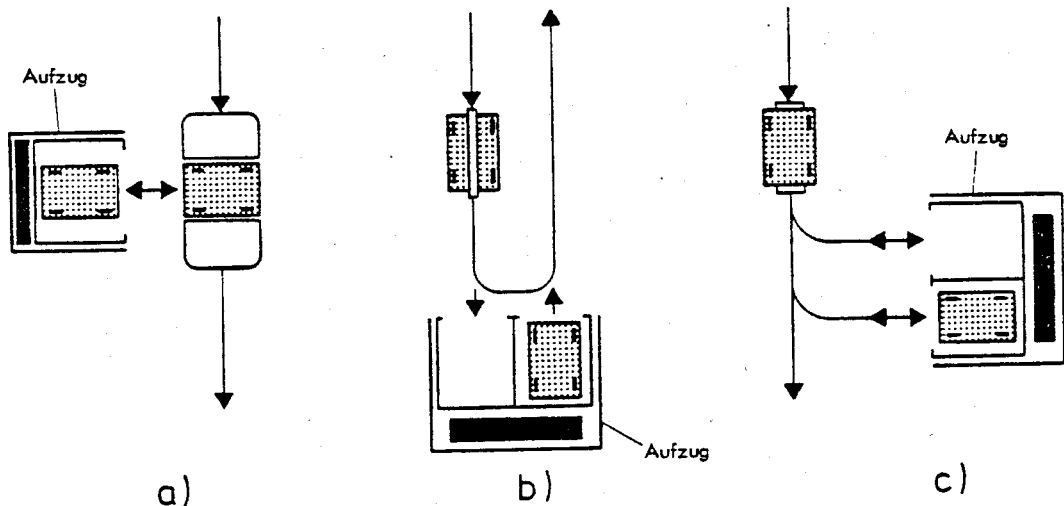
Im Rahmen der Angaben zur Berechnung von Fahrwerken und Aufzügen wurde eine Anzahl von Größen in die Betrachtung eingeführt, die sich selbst aus

einer Vielzahl von Grundgrößen zusammensetzen. Es handelt sich bei diesen zusammengesetzten Größen vor allem um

- $T_E$  = mittlere Einzelspielzeit eines Fahrwerks
- $T_k$  = mittlere kombinierte Spielzeit eines Fahrwerks
- $T_{E_{\text{Aufz}}}$  = mittlere Einzelspielzeit eines Aufzugs
- $T_{k_{\text{Aufz}}}$  = mittlere kombinierte Spielzeit eines Aufzugs

### 3.2.2.1. Spielzeiten von Fahrwerken

Die Fahrwerke haben die Aufgabe, Wagen zu übernehmen, zu transportieren und abzugeben. Die Übergabe bzw. Abgabe von Wagen erfolgt an definierten Orten. Dabei befinden sich die Fahrwerke in einem Ruhezustand. Zwischen den Orten der Übernahme und Abgabe bewegen sie sich entlang eines vorgegebenen Weges. Dieser Weg ist prinzipiell aus rechtwinklig zueinander angeordneten Streckenabschnitten aufgebaut (vgl. 2.3.2.). In der Realität treffen diese Abschnitte nicht stumpf in einem rechten Winkel aufeinander, sondern werden durch Kurven (90°-Kurven) miteinander verbunden. Die Übernahme- bzw. Übergabepunkte selbst können zudem bestimmten Gesichtspunkten der Gestaltung unterworfen sein (vgl. Darstellungen der Abbildung 17).



- a) Flurförderer mit Übergabe durch Stetigförderer
- b) Hängebahn mit Übergabe durch Stetigförderer
- c) Flurförderer fährt in Aufzug ein

Abb. 17: Prinzipdarstellung für systemspezifische Anordnungen von Aufzügen zur Trasse

Es können entsprechend zusätzliche Kurven (je nach der Lage der Übernahme- bzw. Übergabeorte zum Weg des Fahrwerks) erforderlich werden. Die Fahrwerke selbst erfahren im Zusammenhang mit dem 'Halt' bei Übernahme bzw. Übergabe Beschleunigungen und Verzögerungen. Es kann wegen Überschreitung nicht zulässiger Querschleunigungen erforderlich sein, maximale Kurvenfahrgeschwindigkeiten in Abhängigkeit der (systemspezifischen) Kurvenradien nicht zu überschreiten. Auch gerade Streckenabschnitte können zu kurz sein, so daß die maximale Geschwindigkeit des Fahrwerks nicht erreicht werden kann (vgl. /69/). Solche Gesichtspunkte sind bei der Spielzeitberechnung zu berücksichtigen.

Demnach ergeben sich für die Spielzeitberechnung gesonderte Beschleunigungszeiten und Beschleunigungswege, Verzögerungszeiten und Verzögerungswege, Kurvenfahrzeiten und Kurvenwege.

Einzelspielzeit  $T_E$  und kombinierte Spielzeit  $T_K$  lassen sich nach dem Schema in Abbildung 18 berechnen.

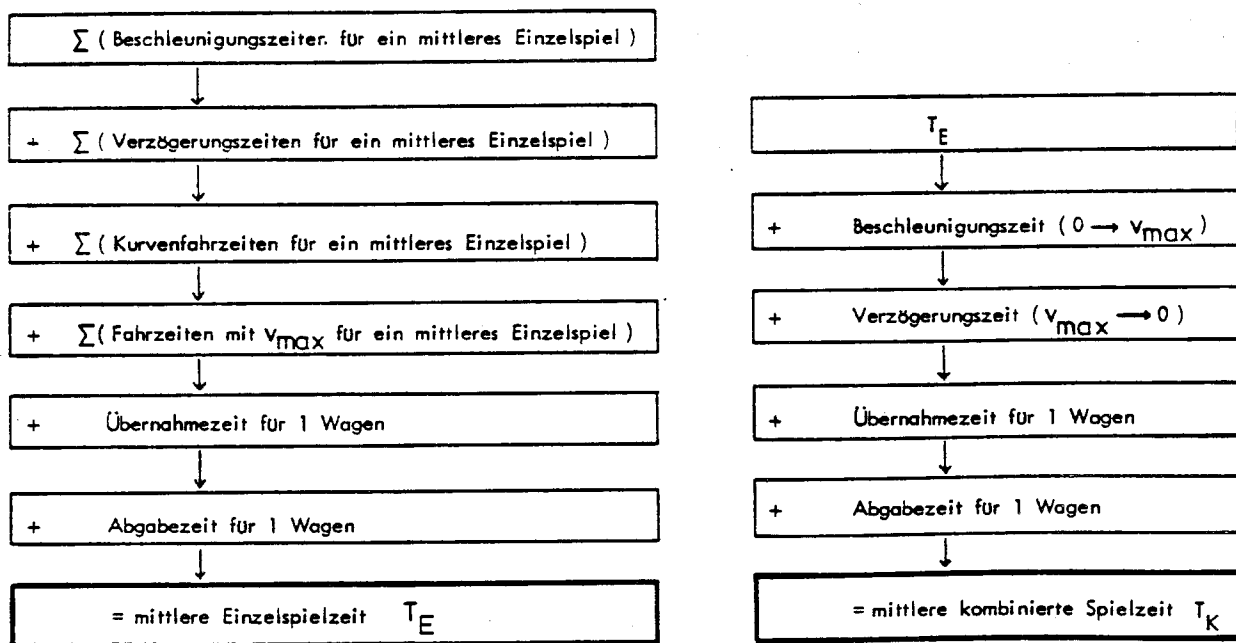


Abb. 18: Schema zur Berechnung mittlerer Spielzeiten für Fahrwerke ( $T_E$ ,  $T_K$ )

### 3.2.2.2. Spielzeiten von Aufzügen

Es wird von dem i.d.R. zu erwartenden Normalfall ausgegangen, daß sich das horizontale Wegenetz in Höhe der Fußpunkte der Aufzüge befindet. Für die Höhe der Vertikalen wird von der Anzahl der übereinander liegenden Pflegeebenen  $N_{pfE}$  ausgegangen sowie der Geschoßhöhe  $GH$  je Pflegegeschoß. Die Möglichkeit, daß zwischen dem 'Bettenhaus' und dem horizontalen Wegenetz andere Bereiche (etwa Untersuchung/Behandlung bei Breitfuß-Typen) liegen, wird durch Einführung eines Sockelmaßes  $SM$  berücksichtigt (vgl. Abbildung 19).

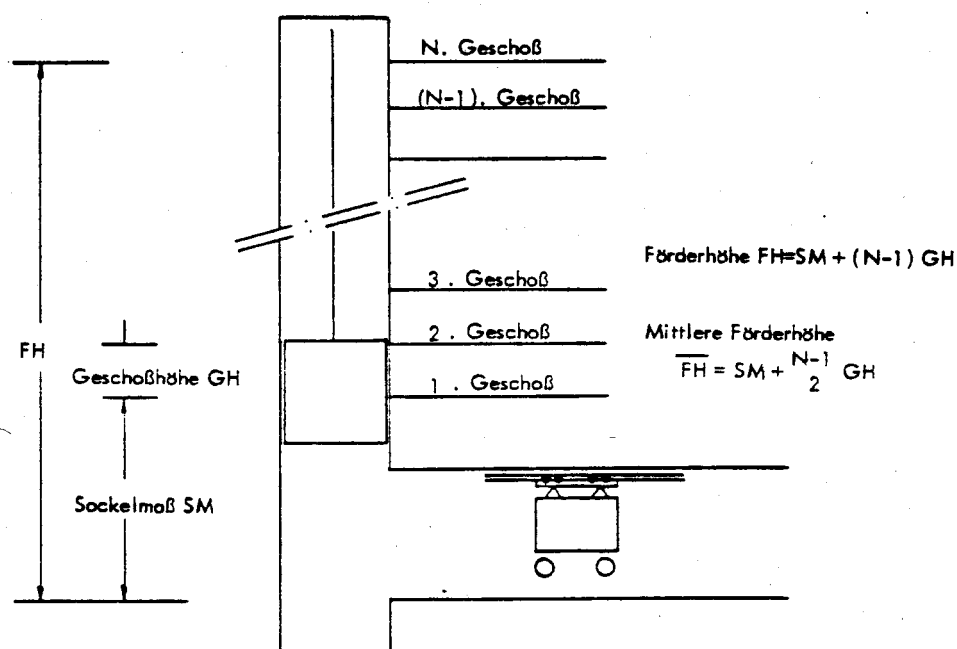


Abb. 19: Ermittlung der mittleren Förderhöhe zur Berechnung eines Einzelspiels ( $T_{E_{Aufz}}$ )

Die Spielzeiten errechnen sich dann analog denen der Fahrwerke (vgl. Abbildung 20).

Für kombinierte Spiele (Doppelkabinenaufzug) ist dagegen zu überlegen, welcher zusätzliche Weg im Vergleich zum mittleren Einzelspiel zurückzulegen ist. Die entsprechenden Überlegungen sind in Abbildung 21 dargestellt.

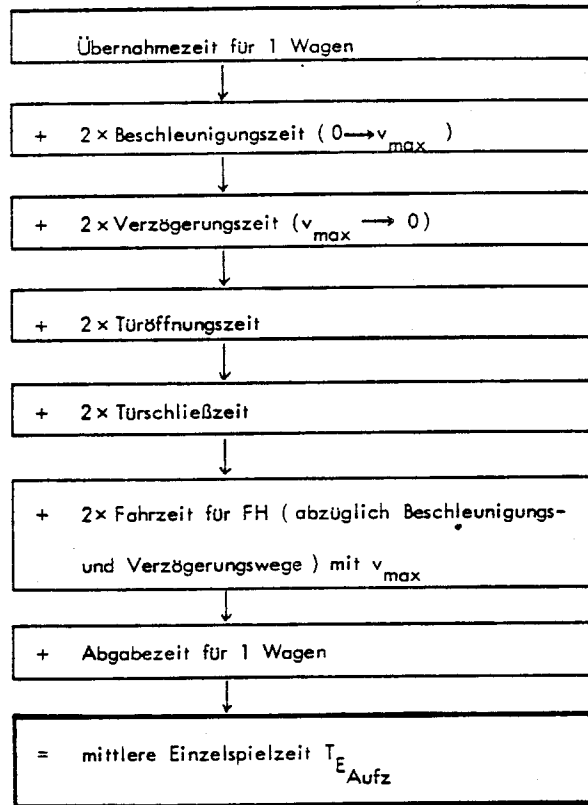


Abb. 20: Schema zur Berechnung der mittleren Einzelspielzeit für Aufzüge ( $T_{E\text{Aufz}}$ )

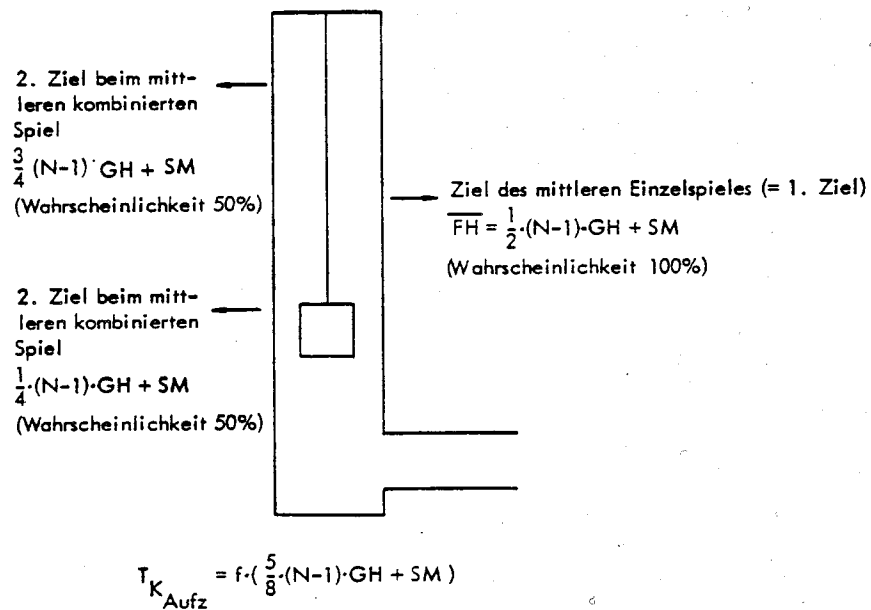


Abb. 21: Ermittlung der mittleren Förderhöhen zur Berechnung kombinierter Spiele ( $T_{K\text{Aufz}}$ )

Die Unterschiede zwischen den Technologien, die Aufzüge verwenden, wirken sich ebenfalls auf die Spielzeiten der Aufzüge aus und können zu Erhöhungen der als konstant anzusehenden Spielzeitanteile führen (vgl. 3.2.4.).

### 3.2.2.3. Spielzeiten für verbindende Förderer

Der Vollständigkeit halber muß auf die Berechnung der als konstant anzusehenden in  $T_{\text{Förderer}}$  enthaltenen Spielzeiten eingegangen werden. Sofern es sich bei den physischen Quellen und Senken mit Aufzügen oder Fahrwerken oder auch Aufzüge und Fahrwerke selbst verbindenden Förderern um Stetigförderer handelt, genügt es, bei einer überschlägigen Spielzeitberechnung von der Länge  $s$  und der Geschwindigkeit  $v$  dieser Förderer auszugehen, so daß sich die entsprechende Spielzeit zu

$$t = \frac{s}{v}$$

berechnet. Bei den üblichen niedrigen Werten von  $v$  können Beschleunigungs- und Verzögerungszeiten vernachlässigt werden. Zudem hat die Zeit  $T_{\text{Förderer}}$  als Summe der so berechneten Zeiten nur Bedeutung für die Überprüfung, ob die maximal zulässige Verteilzeit  $T_{\text{offen}}$  eingehalten wird (vgl. 3.2.1.), nicht aber für die Dimensionierung einzelner Arbeitsmittel. Sofern nicht Stetigförderer, sondern intermittierend arbeitende Verschiebewagen eingesetzt werden, ändert sich die Berechnung entsprechend zu

$$t = \frac{2s}{v},$$

da dieser Wert dem zeitlichen Abstand zweier aufeinanderfolgender Wagen entspricht. Die Länge  $s$  ist abhängig von der Länge der zu transportierenden Wagen und der jeweils geforderten Anzahl an Pufferplätzen zwischen den durch Förderer bzw. Verschiebewagen verbundenen Elementen des AWT-Systems. Es kann zweckmäßig sein, die so berechneten Zeiten als Teil der Spielzeiten der Aufzüge anzusehen (vgl. 3.2.4.).

### 3.2.3. Angabe einzelner Grundgrößen für die Spielzeitberechnung

Die Grundgrößen zur Dimensionierung der Arbeitsmittel anhand von Spielzeitberechnungen wurden Firmenunterlagen entnommen. Sofern dort unzureichende Angaben vorhanden waren oder einzelne Daten gar fehlten, wurden diese auch



aufgrund vergleichbarer Anlagenelemente anderer Technologien oder anhand von Literaturangaben (vgl. hier vor allem /69, 105, 106, 156/) geschätzt.

Eine Übersicht der sich so ergebenden Grundgrößen für das Horizontalsystem enthält Tabelle 3.

Tab. 3: Ausgewählte Grundgrößen für Spielzeitberechnungen

| System<br>Grundgröße                                                           | Hängbahn mit<br>Aufzug<br>von - bis | Flurförderer<br>mit Aufzug<br>von - bis | Kontinuierlich horizontal und vertikal fahrende Hängbahn<br>von - bis |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Horizontalgeschwindigkeit [m/s]                                                | 0,7 - 1,33                          | 1,2 - 1,5                               | 1,0 - 1,5                                                             |
| Kurvengeschwindigkeit [m/s]                                                    | 0,33 - 0,67                         | 0,5 - 0,6                               | 0,45 - 0,5                                                            |
| Übernahme- bzw. Abgabzeit/Wagen [s]                                            | 7,0 - 9,5                           | 8,0 - 10,0                              | 30,0 - 40,0                                                           |
| beschleunigungs- bzw. Verzögerungszeit horizontal $0 \rightarrow V_{\max}$ [s] | 1,4 - 2,7                           | 2,0 - 3,3                               | 2,0 - 3,0                                                             |
| Beschleunigungs- bzw. Verzögerungsweg horizontal [m]                           | 0,5 - 1,8                           | 1,4 - 2,3                               | 1,0 - 2,3                                                             |
| Kurvenradius [mm]                                                              | 1.000 - 1.200                       | 800 - 1.400                             | 750 - 800                                                             |
| Leitförderer - Wagen-<br>vorschub [m/s]                                        | 0,25 - 0,3                          | 0,25 - 0,3                              | 0,18 - 0,25                                                           |
| Ein- und Ausfahren Verschiebewagen einschl. Abgabe bzw. Übergabe Wagen [s]     | 48,0                                | 48,0                                    | -                                                                     |
| Vertikalgeschwindigkeit [m/s]                                                  | 1,2 <sup>1)</sup>                   | 1,2 <sup>1)</sup>                       | 0,5                                                                   |
| beschleunigungs- bzw. Verzögerungszeit Aufzug [s]                              | 2,4 <sup>1)</sup>                   | 2,4 <sup>1)</sup>                       | -                                                                     |
| Beschleunigungs- bzw. Verzögerungsweg Aufzug [m]                               | 1,44 <sup>1)</sup>                  | 1,44 <sup>1)</sup>                      | -                                                                     |
| Aufzugtür öffnen bzw. schließen [s]                                            | 3,0 <sup>1)</sup>                   | 3,0 <sup>1)</sup>                       | -                                                                     |

- 1) Es wurden für alle Aufzüge gleiche Grundgrößen angenommen. Damit ergibt sich für ein Einzelspiel ein konstanter Spielzeitanteil von 21,6 [s]. Hinzu kommen die Fahrzeit (für den Weg ohne Beschleunigungs- und Verzögerungswege) sowie die Zeiten für das Ein- und Ausfahren des transportierten Wagens

Im Rahmen der einzelnen Rechnung ist die Höhe der zu durchfahrenden Vertikalen für die kontinuierlich fahrende Hängebahn geringfügig niedriger anzusetzen als bei vergleichbaren Aufzügen (vgl. Abbildung 22).

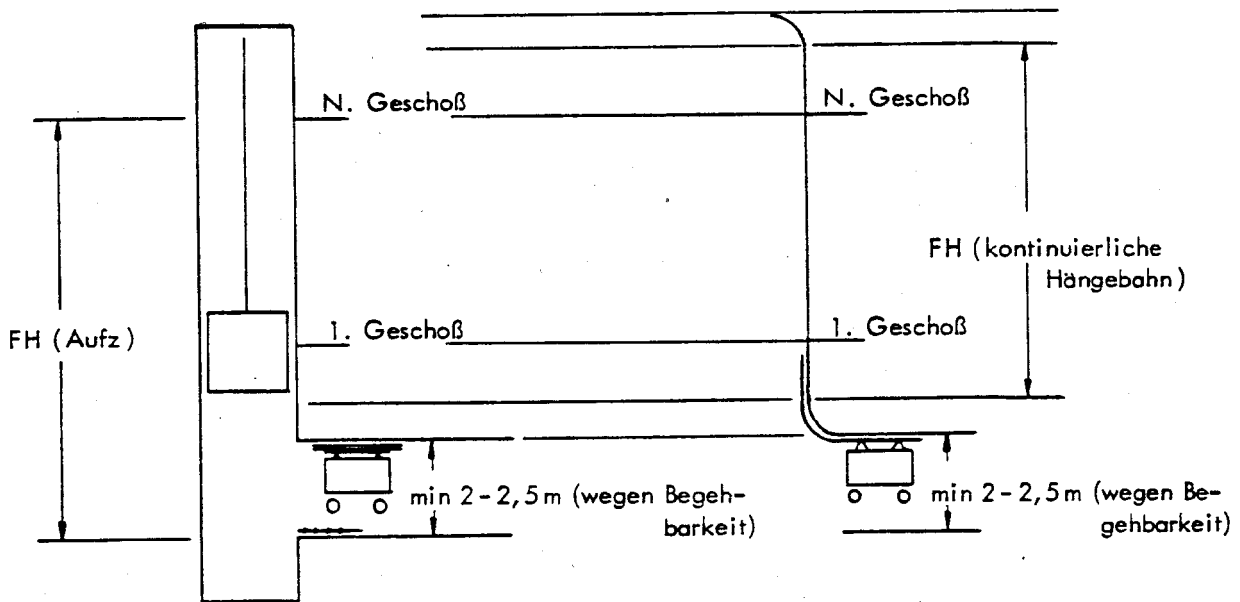


Abb. 22: Unterschiede bei Vertikalen zwischen Systemen mit und ohne Aufzug

An Stelle der Übergabezeiten vom Fahrwerk zum Aufzug (bzw. umgekehrt) sind bei der kontinuierlich fahrenden Hängebahn entsprechend das Durchfahren von Vertikalkurven und entsprechende Verzögerungen und Beschleunigungen beim Wechsel zwischen horizontalen und vertikalen Streckenabschnitten anzusetzen.

Mit Hilfe entsprechender Ansätze für Horizontalkurven (Beschleunigungen bzw. Verzögerungen beim Wechsel zwischen geradem und gebogenem Streckenabschnitt), der Vorgabe von Pufferplätzen an Sende-, Empfangsstationen der Quellen und Senken sowie den Übergängen zwischen horizontalen und vertikalen Systemteilen lassen sich alle vorher genannten Spielzeiten (vgl. 3.2.1. und 3.2.2.) berechnen, sofern die Wegeführung bekannt ist (vgl. 3.3.).

#### 3.2.4. Besonderheiten bei einzelnen Technologien

Über die Anzahl von zu fahrenden Einzelspielen bzw. kombinierten Spielen läßt sich insgesamt die zurückzulegende Strecke bzw. die erforderliche Summe an Spielzeiten ermitteln (vgl. 3.2.1.).

Bei den vom Aktionsradius her in dieser Hinsicht durch die Batteriekapazität beschränkten Flurförder-Fahrwerken kann damit überprüft werden, ob die während der Betriebszeit geforderte Transportleistung die Kapazität der zunächst als notwendig errechneten Anzahl  $N_{FW}$  Fahrwerke überschreitet. Gilt etwa, daß insgesamt von den Fahrwerken  $N_E$  Einzelspiele und  $N_k$  kombinierte Spiele auszuführen sind und kann je Fahrwerk und Schicht (d.h. innerhalb der Betriebszeit) aufgrund der Batteriekapazität insgesamt eine Summe an möglichen Spielzeiten von  $T_{FW}$  zur Verfügung gestellt werden, so berechnet sich die aufgrund der Leistungsbeschränkung minimal erforderliche Anzahl Fahrwerke zu

$$N'_{FW} \geq \frac{N_E \cdot T_E + N_k \cdot T_k}{T_{FW}}$$

Damit unterliegt die vorher berechnete Fahrwerkszahl  $N_{FW}$  (vgl. 3.1.3.) für Flurfördersysteme zugleich der Restriktion

$$N_{FW} \geq N'_{FW}$$

Unabhängig von dieser Restriktion ist zu beachten, daß bei einzelnen Technologien auf der Basis von Flurfördersystemen die Fahrwerke mit in den Aufzug einfahren. Sie sind demnach für einen neuen Transport an der Quelle (bei Einzelspielen) im Mittel nicht nach der Zeit  $T_E$ , sondern erst nach  $T_E + T_{E_{Aufz}}$  verfügbar.

Die aufgrund der Abfertigungsrate zu ermittelnde Anzahl von Fahrwerken berechnet sich damit für diese Technologien zu

$$N_{FW} \geq \frac{T_E + T_{E_{Aufz}}}{T_{Abf}} \quad \text{bzw. bei Einsatz von kombinierten Spielen zu}$$

$$N_{FW} \geq \frac{T_k + T_{k_{Aufz}}}{T_{Abf}},$$

wobei natürlich jeweils die abgeleitete Überprüfung der Fahrwerksanzahl anhand der Batteriekapazität durchzuführen ist<sup>1)</sup>.

1) Einzelne Hersteller geben die Batteriekapazität statt in Zeiteinheiten in Wegeeinheiten (zurücklegbarer Fahrweg je Fahrwerk) an. Dann ist bei der Überprüfung von  $N_{FW}$  analog auf der Basis mittlerer Wege für  $T_E$  bzw.  $T_k$  vorzugehen

Zugleich erscheint es plausibel, daß in solchen Fällen die Aufzugsspielzeiten  $T_{E_{\text{Aufz}}}$  bzw.  $T_{k_{\text{Aufz}}}$  nicht nur die Zeiten für das Einfahren und das Ausfahren des Fahrwerks mit dem Wagen, sondern auch das Einfahren und Ausfahren ohne Wagen enthalten müssen. Dafür gilt für solche Systeme  $T_{\text{Förderer}} = 0$ .

Entsprechend ist für Aufzugsberechnungen bei Einsatz von Verschiebewagen vorzugehen. Bei technisch sonst gleichartigen Aufzügen erhöhen sich für die genannten Technologien demnach im Vergleich zu den übrigen die Aufzugsspielzeiten.

Bei kontinuierlich horizontal und vertikal fahrenden Fahrwerken entfallen Aufzugsberechnungen. Hier erhöhen sich  $T_E$  und  $T_k$  entsprechend um die für die Vertikalstrecken erforderlichen Zeiten.

### 3.3. Bildung und Berechnung von Strukturen für AWT-Systeme

Die unter 3.2. ermittelten Beziehungen erlauben die Dimensionierung der Arbeitsmittel von AWT-Systemen für beliebige Technologien, sofern die Wegeführung (Trasse) des jeweiligen Systems bekannt ist. Die Gestaltung des horizontalen Wegenetzes bestimmt wesentlich die Spielzeiten der Fahrwerke und die Lage des horizontalen zum vertikalen Wegenetz die der Aufzüge.

Aufgrund der Regelmäßigkeit der Struktur der Senken (Bettenhaus) und des i.d.R. durch die Koordinaten der Quellen gegebenen Niveaus des horizontalen Wegenetzes kann das vertikale Wegenetz als gegeben angesehen werden.

Das horizontale Netz ergibt sich dann als die in eine Ebene projizierten Koordinaten aller Quellen und Senken verbindende Trasse. Für deren Gestaltung sind innerhalb des gegebenen Freiheitsraumes (Rechtwinkligkeit der einzelnen Wegstrecken) bestimmte Annahmen zu treffen, die sich positiv auf das Gesamtsystem auswirken sollten. Entsprechend diesen im folgenden dargestellten Annahmen wird bei der Bildung horizontaler Wegenetze zwischen Ring- und Linienstrukturen unterschieden.

### 3.3.1. Ringstruktur

Als einfachstes horizontales Wegenetz bietet sich ein System an, bei dem alle durch das Netz zu verbindenden Punkte, die durch die in eine Ebene projizierten Koordinaten der Quellen und Senken gebildet werden, jeweils lediglich mit einem vom Fahrwerk vorher und einem später anzufahrenden Punkt direkt verbunden sind und das so gebildete Wegenetz daher einen geschlossenen Ring bildet (vgl. Abbildung 23).

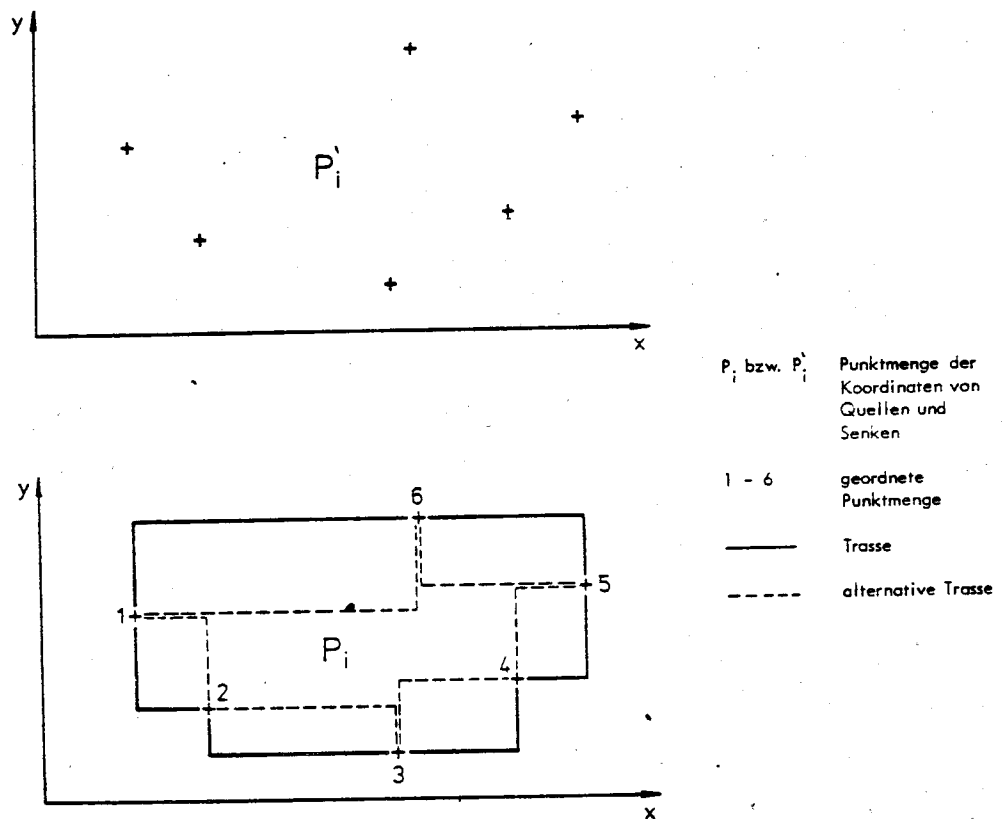


Abb. 23: Beispiel für die Erzeugung einer Ringstruktur

Für die Bildung einer solchen Ringstruktur aus einer beliebigen Punktmenge  $P_i'$  ( $x_i'$ ,  $y_i'$ ) in einem X-Y-Koordinatensystem läßt sich ein einfacher Algorithmus finden. In der in Abbildung 23 dargestellten Struktur werden die Punkte  $P_i'$  so umindiziert zu Punkten einer Menge  $P_i$ , daß gilt

$$x_1 = x_{\min}' = \text{Minimum} \{x_i'\},$$

und, sofern es mehr als ein  $x_{\min}'$  gibt

$$y_1 = \text{Minimum} \{y_i' (x_{\min}')\}$$

und

$$x_1 = x_1(y_1)$$

Eliminiert man den so gefundenen Punkt  $P_1(x_1, y_1)$  aus der Menge der  $P_i'$ , läßt sich entsprechend der Punkt  $P_2$  bestimmen mit

$$x_2 = \text{Minimum} \left\{ x_i' (y_1' \leq y_1) \right\}$$

bzw., sofern es kein solches  $x_2$  gibt

$$x_2 = x_{\max}' = \text{Maximum} \left\{ x_i' \right\}$$

und, sofern es mehr als ein  $x_{\max}'$  gibt

$$y_2 = \text{Minimum} \left\{ y_i' (x_{\max}') \right\}$$

Eliminiert man den so gefundenen Punkt  $P_2$  (bzw.  $P_3, P_4$  usw.) aus der Menge der  $P_i'$ , so lassen sich entsprechend alle Punkte  $P_i$  in der in Abbildung 26 dargestellten Reihenfolge ordnen, solange gilt  $x_i' > x_1$ . Sobald gilt  $\text{Maximum} \left\{ x_i' \right\} = x_1$ , ist solange für die als nächste zu eliminierenden Punkte zu ordnen

$$y_i = \text{Maximum} \left\{ y_i' (x_1) \right\}$$

Dann sind alle Punkte des horizontalen Wegenetzes entsprechend ihrer durch die Fahrwerke anzufahrenden Reihenfolge als Ringstruktur geordnet. Für die Verbindung der Punkte gibt es dabei u.U. Alternativen (gestrichelte Linien in Abbildung 23). Es ist zu erkennen, daß diese Alternativen keinen Einfluß auf die sich insgesamt ergebende Trassenlänge haben. Lediglich die Zahl erforderlicher Kurven kann leicht differieren. Hier sollte die Variante mit dem Minimum an Kurven gewählt werden.

Ordnet man der so gefundenen Struktur einen Umlaufsinn zu (beispielsweise, wie durch die Numerierung der Punkte angedeutet, entgegen dem Uhrzeigersinn), so lassen sich jetzt alle Dimensionierungsrechnungen leicht durchführen (vgl. 3.2.). Der gewählte Umlaufsinn hat keinen Einfluß auf die sich ergebende Anzahl an Fahrwerken, kann jedoch die Einhaltung von Restriktionen erschweren bzw. begünstigen (vgl. 5.3.1.).

Anhand der so gefundenen Struktur soll noch einmal auf die Möglichkeit kombinierter Spiele eingegangen werden. Hierzu sind in Abbildung 24 die

Sender- und Empfangsstationen an Quellen und Senken in bezug auf die Richtung des jeweils erfolgenden Wagentransports sowie der Umlaufsinn einer Ringstruktur dargestellt.

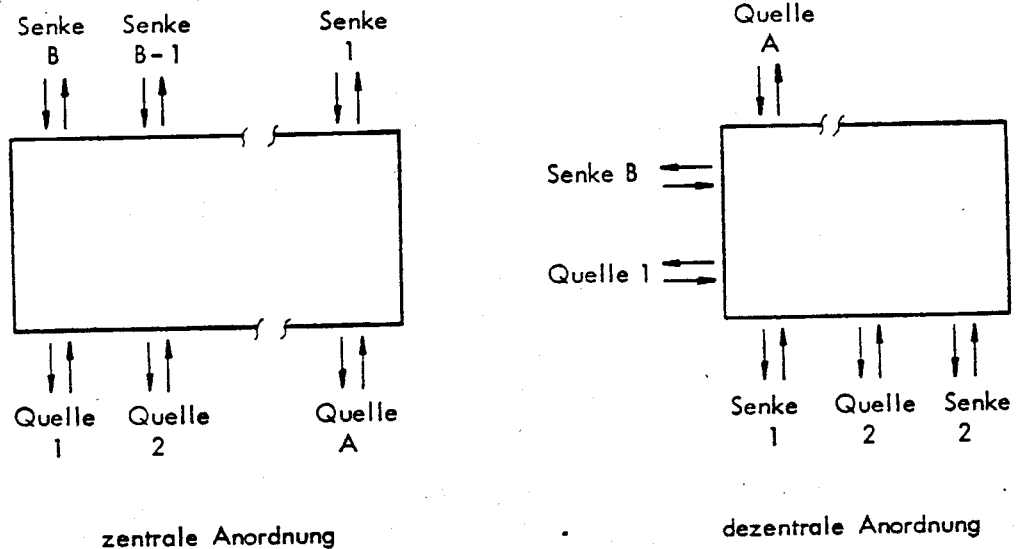


Abb. 24: Ringstrukturen - Anordnungsmöglichkeiten von Quellen und Senken

Die am Beispiel der Speisenverteilung dargestellte Möglichkeit von kombinierten Spielen (vgl. 3.2.1., S. 43 ff.) geht aus von der Situation, daß sich zu Beginn und Ende der Speisenverteilung (d.h. vor Beginn des Versands frischer Speisen und nach Rückkehr der letzten Wagen mit Schmutzgeschirr) alle Fahrwerke an der Quelle Küche befinden<sup>1)</sup>. Eine ähnliche Konzentration von Fahrwerken erfolgt üblicherweise zu Beginn und Ende der täglichen Betriebszeit (Anfahren bzw. Leerfahren des Systems).

Innerhalb der Betriebszeit stellt sich jedoch eine Verteilung der Fahrwerke ein. Für den Zeitraum einer völligen Gleichverteilung von Hin- und Rück-Transporten von Wagen kann davon ausgegangen werden, daß jeweils zu einem Zeitpunkt, zu dem ein Wagen an einer Quelle zum Hin-Transport bereitsteht, an einer Senke zugleich ein Wagen auf den Rück-Transport wartet. Ist der Wagen der Quelle für diese Senke oder eine in der Ringstruktur vorher am Wege liegende Senke bestimmt, so kann das für den Hin-Transport eingesetzte Fahrwerk zugleich den Rück-Transport ausführen und so ein kombiniertes Spiel realisieren.

1) Derartige Fahrwerkskonzentrationen in sogenannten Fahrwerksbahnhöfen sind üblich. Sie sind hier nicht dargestellt und spielen auch für die in dieser Arbeit enthaltenen Überlegungen prinzipiell keine Rolle (vgl. jedoch 4., S. 70 ff.)

Bei Gleichverteilung von Hin- und Rück-Transporten auf alle logischen Senken ist jedoch davon auszugehen, daß die im Mittel anzufahrende Senke bei insgesamt  $N_w$  Senken entsprechend einer Durchnummerierung der Senken von 1 bis  $N_w$  (nach der Folge der anzufahrenden Vertikalen) genau der Senke  $\frac{N_w}{2}$  entspricht. Die Wahrscheinlichkeit, daß die einen Wagen für einen Rück-Transport bereithaltende Senke innerhalb der Struktur auf die Senke folgt, die Ziel des Hin-Transports war, ist dann im Mittel 50 %. Im Mittel entfällt daher auf 2 Hin-Transporte eine Kombinationsmöglichkeit für einen Rück-Transport. Bei insgesamt  $N_w$  zu versendenden und abzuholenden Wagen können sich daher maximal

$$N_k = \frac{N_w}{2} \text{ kombinierte Spiele und entsprechend minimal}$$

$$N_E = 2 \left( N_w - \frac{N_w}{2} \right) = N_w \text{ Einzelspiele ergeben.}$$

Diese Aussage gilt für die in Abbildung 24 angedeutete zentralisierte Anordnung der Quellen, da direkte Transporte zwischen einzelnen Senken und Quellen ausgeschlossen sind.

Sind alternierend Quellen und Senken entlang der Trasse angeordnet, so sind für diese dezentrale Anordnung der Quellen (vgl. Abbildung 24) 2 Fälle zu unterscheiden

- o ausgehend von dem Transport eines Wagens von einer Quelle zu einer Senke werden kombinierte Spiele dann zugelassen, wenn das Ziel des bzw. der folgenden Transporte diese Quelle ist oder in der Ringstruktur vor ihr liegt
- o ausgehend von dem Transport eines Wagens von einer Quelle zu einer Senke sollen stets kombinierte Spiele angeschlossen werden, wobei alternierend Transporte zu Quellen und Senken aufeinander folgen.

Geht man von völliger Gleichverteilung von A Quellen und B Senken entlang einer Ringstruktur aus, so ergeben sich für den ersten Fall die folgenden Ergebnisse. Ausgehend von der Quelle 1 ist die im Mittel bei einem Transport anzufahrende Senke  $\frac{B}{2}$ . Für einen sich vor Rückkehr nach Quelle 1 anschließenden Transport von einer Senke stehen die Senken  $\frac{B}{2}$  bis B zur Verfügung. Die Wahrscheinlichkeit für einen solchen Transport ist demnach 0,5, die betref-



fende Senke im Mittel  $\frac{3}{4}$  B. Da als Ziel nur Quellen bis 1 zugelassen werden, stehen hierfür die Quellen  $\frac{3}{4}$  A bis 1 zur Verfügung. Die Wahrscheinlichkeit, daß ein beliebiger Transport dort endet, ist dann 0,25. Aus diesen Überlegungen ergibt sich im ersten Fall eine bedingte Wahrscheinlichkeit für ein sich an den von Quelle 1 ausgehenden Transport anschließen des kombiniertes Spiel von  $0,5 \cdot 0,25$ , d.h. 0,125. Natürlich kann sich hieran erneut ein Spiel anschließen, für das sich nach den gleichen Überlegungen eine Wahrscheinlichkeit von 0,0625 ergibt. Für alle Folgespiele des zuerst genannten Falles ergeben sich damit entsprechend Wahrscheinlichkeiten zu

$$p_i = \frac{1}{2^{i-1} \cdot 8}$$

wobei  $i$  das  $i$ -te Folgespiel vor der Rückkehr des Fahrwerks zur Quelle 1 kennzeichnet. Die insgesamt vorhandene Wahrscheinlichkeit für kombinierte Spiele unter den genannten Bedingungen ist damit entsprechend

$$p = \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{2^{i-1} \cdot 8} \right).$$

Für  $n \rightarrow \infty$  konvergiert der Wert dieser Reihe gegen  $\frac{1}{4}$ . Im Vergleich zur zentralisierten Anordnung der Quellen folgt hieraus die Lösung

$$N_k = \frac{N_w}{4}$$

$$N_E = 2 \cdot \left( N_w - \frac{N_w}{4} \right) = 1,5 \cdot N_w$$

und entsprechend eine Erhöhung des insgesamt zurückzulegenden Weges um etwa 17 %.

Für den zweiten Fall ergibt sich folgende Überlegung. Hat die Ringstruktur, an der Senken und Quellen als völlig gleichverteilt liegend angenommen werden, die Länge  $L$ , so sind im Hinblick auf die Möglichkeit kombinierter Spiele nur diejenigen interessant, bei denen das Fahrwerk bis zur jeweils nächsten Aufgabe oder Abgabe eines Wagens einen Weg  $< L$  zurücklegen muß. Es wird demnach wie bei den Überlegungen zum erstgenannten Fall davon ausgegangen, daß jeweils beim Durchfahren der Weglänge  $L$  völlig gleichverteilt eine Kombinationsmöglichkeit für ein kombiniertes Spiel gegeben ist. Bezogen auf  $A$  Quellen und ein an der 1. Quelle bereitstehendes Fahrwerk ergibt sich

zunächst eine Wahrscheinlichkeit für die Existenz eines Transports von dieser Quelle von  $\frac{1}{A}$ , da die Wahrscheinlichkeit für einen Transport von einer beliebigen der A Quellen gleich ist. Im Mittel endet dieser Transport bei einer Senke entsprechend einem zurückzulegenden Weg  $\frac{L}{2}$ .

Die Wahrscheinlichkeit, daß ein Folgespiel beginnt, bevor ein weiterer Weg  $\frac{L}{2}$  zurückgelegt wurde, ist (wie bereits gesagt wurde)  $\frac{1}{2}$ . Im Mittel beginnt dieses Spiel bei einer Senke entsprechend  $\frac{3}{4} L$  und endet im Mittel nach Zurücklegen eines Weges  $\frac{L}{2}$ . Für dieses angeschlossene kombinierte Spiel legt demnach das Fahrwerk im Mittel einen Weg ohne Wagen von  $\frac{L}{4}$  und mit Wagen von  $\frac{L}{2}$  zurück. Die Ausgangsbedingung, der Weg solle kleiner L sein, ist demnach erfüllt.

Nach den gleichen Überlegungen ist bei einer Wahrscheinlichkeit von  $\frac{3}{4}$  für das nächste Folgespiel im Mittel ein Weg ohne Wagen von  $\frac{3}{8} L$  und mit Wagen von  $\frac{L}{2}$  zurückzulegen. Für weitere Folgespiele konvergieren demnach die mittleren Wege ohne Wagen gegen  $\frac{1}{2}$ , die Wahrscheinlichkeiten für die Existenz eines zulässigen Folgespiels gegen 1. Allgemein beträgt die Wahrscheinlichkeit für das i-te Folgespiel für  $i=1$  A und für  $i > 1$

$$\frac{2^{i-1}-1}{2^{i-1}}$$

und der jeweils je Spiel zurückgelegte Weg

$$\frac{2^i - 1}{2^i} \cdot L.$$

Da Ausgangspunkt der Überlegung der Gesichtspunkt war, daß es auf der Weglänge L stets eine Kombinationsmöglichkeit für ein Folgespiel gibt, ist es nur logisch, daß sich für mittlere Weglängen um 1 dann auch die Wahrscheinlichkeit 1 einstellt. Die Kombination selbst bringt dann keinerlei Vorteile mehr. Es werden faktisch Einzelspiele ausgeführt.

Für beispielsweise 8 Spiele und  $A = 8$  Quellen würde bei einer mittleren Wahrscheinlichkeit je Folgespiel von 0,767 und einem im Mittel dann zurückzulegenden Weg von  $0,875 \cdot L$  insgesamt ein Weg zurückzulegen sein von

$$\begin{array}{rcl} 0,767 \cdot 8 \cdot 0,875 \cdot L & \text{für Folgespiele} \\ + (1 - 0,767) \cdot 8 \cdot L & \text{für Einzelspiele} \\ \hline 7,233 \cdot L \end{array}$$

Das ergibt im Vergleich zur zentralisierten Lösung eine Verschlechterung von etwa 20 % (im Vergleich zu reinen Einzelspielen eine Verbesserung von ca. 9,6 %).

Mit zunehmender Zahl von Spielen nähert sich dieser Fall den reinen Einzelspielen.

Sind die Bedienhäufigkeiten sehr unterschiedlich, so wirkt sich eine dezentrale Anordnung weniger negativ aus. In der Regel kann wegen der günstigsten Lösung der äußeren Verkehrserschließung und auch der Beziehungen der Quellen untereinander (vgl. 2.2.2.) von einer zentralisierten Anordnung ausgegangen werden. Sie wird im Rahmen dieser Arbeit deshalb vorausgesetzt.

Da in Ringstrukturen Fahrwerke immer hintereinander fahren (keine Überholmöglichkeit!), ist darauf zu achten, daß der Blockabstand so groß ist, daß durch Übernahme- und Übergabezeiten für Wagen kein Anhalten folgender Fahrwerke erforderlich wird. Werden hinreichend große Blockabstände realisiert, so handelt es sich bei Ringstrukturen um die technisch und organisatorisch am einfachsten aufgebauten AWT-Systeme.

### 3.3.2. Linienstruktur

Nachteilig bei Ringstrukturen kann sich auswirken, daß stets alle Quellen und Senken nacheinander angefahren werden. Die Hin-Transportzeit zur entferntesten Senke kann sehr groß werden und u.U. das zulässige Maximum ( $T_{\text{Hin max}}$ ) überschreiten. Zugleich ist es denkbar, daß ein 'Überspringen' einzelner Senken zu so großen Spielzeit- bzw. Wegeverkürzungen führen kann, daß sich dies positiv auf die Anzahl erforderlicher Fahrwerke auswirkt.

Einen Ansatz für eine diesen Anforderungen genügende Struktur bildet die in Abbildung 25 dargestellte Anordnung. Dabei gehen von einer linienförmigen Haupt-Trasse Stich-Strecken zu den einzelnen Quellen und Senken. Wesentliches Strukturierungselement ist dabei die Festlegung dieser Haupt-Trasse. Da Sinn dieser Linienstruktur die mögliche Verkürzung von Wegen bzw. dadurch Verringerung von Spielzeiten ist, erscheint die Lage der Haupt-Trasse als günstigste, bei der die zu befahrenden Stich-Strecken relativ am kürzesten sind. Der Ausdruck 'relativ' bezieht sich dabei auf die Tatsache, daß - sofern die Stich-Strecke nur befahren wird, um zu

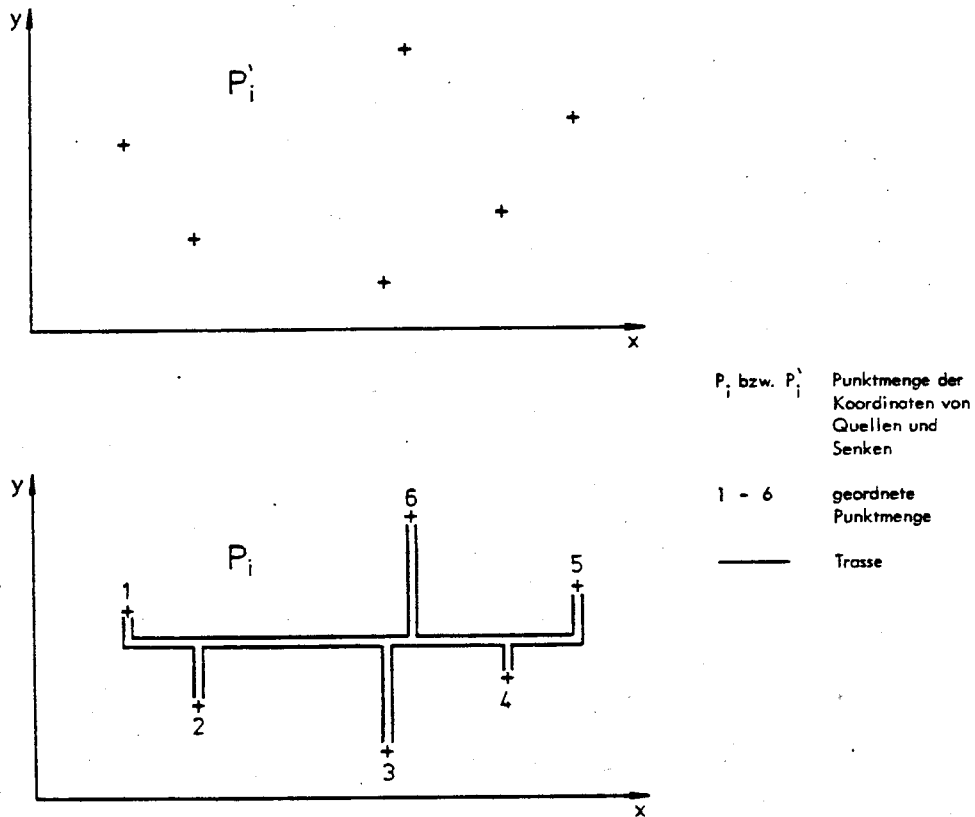


Abb. 25: Beispiel für die Erzeugung einer Linienstruktur (Ausgangslösung)

den an dieser befindlichen Quellen oder Senken zu gelangen - diese Stichstrecken unterschiedlich häufig befahren werden (entsprechend der von bzw. zu den dort befindlichen Quellen und Senken zu transportierenden Anzahl von Wagen). Die für alle Punkte der Haupt-Trasse im X-Y-Koordinatensystem gemeinsame Ordinate  $Y_L$  läßt sich daher als gewichtetes arithmetisches Mittel der Ordinaten aller Punkte der Struktur auffassen, wobei die zu den Punkten zuzuordnenden Wagenanzahlen (bzw. zuzuordnenden logischen Senken bzw. bei Quellen Summe aller logischen Senken) als Gewichte dienen.

Ausgehend von der so gefundenen Haupt-Trasse läßt sich dann als Ausgangslösung der Linienstruktur eine Ringstruktur finden, wie sie beispielhaft in Abbildung 25 dargestellt ist.

Entsprechend den Dimensionierungsüberlegungen bei 3.2.1. sind nun verschiedene Ursachen und entsprechend Lösungen für ein 'Überspringen' von Stichstrecken in eine solche Ausgangslösung einzuführen.

Beim Durchfahren der Struktur der Ausgangslösung kann

$T_{Hin_{max}}$  überschritten werden. Das betroffene System würde dann den Anforderung

derungen nicht genügen. Eine Einführung von 2 Weichen gemäß Abbildung 26 kann eine Stich-Strecke überspringen und entsprechend  $T_{Hin\_max}$  verringern.

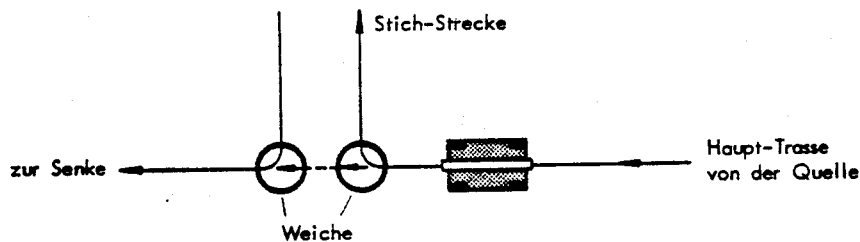


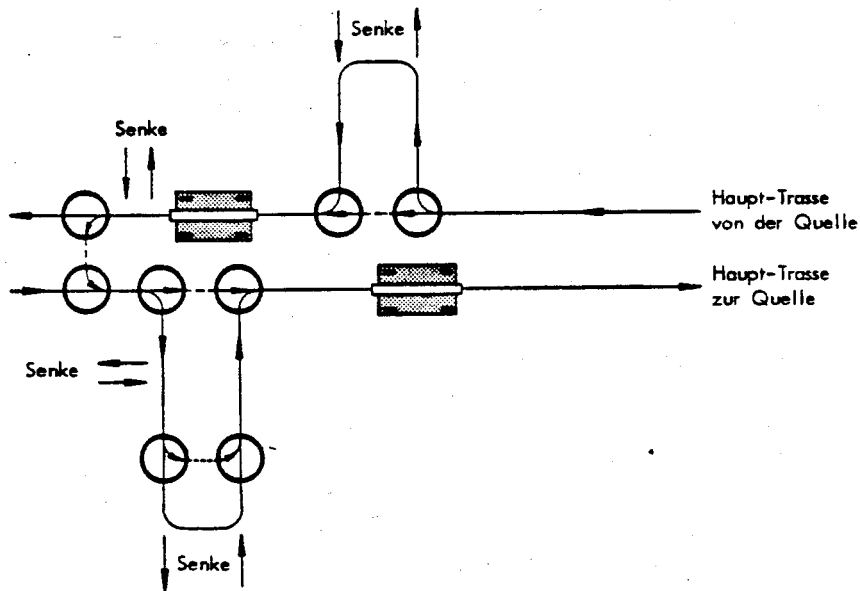
Abb. 26: Einführung von 2 Weichen zur Abkürzung des Hin-Weges

Es empfiehlt sich dabei, zunächst die vom Weg her längste Stich-Strecke 'abzuschneiden' und dann zu prüfen, ob danach  $T_{Hin\_max}$  nicht mehr überschritten wird. Ist dies dennoch der Fall, wird  $T_{Hin\_max}$  die nächst kleinere Stich-Strecke zusätzlich abgeschnitten usw. solange, bis  $T_{Hin\_max}$  nicht mehr überschritten wird oder aber sämtliche Möglichkeiten zur Einführung der in Abbildung 26 dargestellten Weichenanordnung ausgeschöpft sind. Bei einer Linienstruktur läßt sich u.U. erst nach einem solchen Vorgehen entscheiden, ob die geforderte maximale Hin-Transportzeit eingehalten werden kann.

Die dargestellte Weichenanordnung (2-er-Weiche) kann unabhängig von der Frage der maximal zulässigen Hin-Transportzeit eingesetzt werden, um die Spielzeiten (bzw. zu fahrende Wege) so zu verkürzen, daß die Anzahl notwendiger Fahrwerke verringert wird. Dabei wirkt sich die Verringerung der Spielzeiten auf alle Technologien aus, die Verkürzung zu fahrender Wege lediglich auf Flurfördersysteme, sofern dort für die Bestimmung der Anzahl Fahrwerke die beschränkte Batteriekapazität maßgebend war.

Für solche Überprüfungen erscheint ein 2. Typ von 2-er-Weichen ebenfalls zweckmäßig (vgl. Abbildung 27).

Diese 2-er-Weichen verkürzen den Rückweg der Fahrwerke und wirken sich daher ebenfalls positiv auf die Anzahl benötigter Fahrwerke aus. Die Wirkung solcher Weichenanordnungen ist um so größer, je länger die Stich-



**Abb. 27:** Typen von 2-er-Weichen-Anordnungen

Strecke selbst ist. Bei gleich großen Stich-Strecken empfiehlt es sich, zunächst diejenige mit der geringeren Zahl angebundener logischer Senken zu überprüfen. Innerhalb einer Stich-Strecke erscheint es am zweckmäßigsten, zunächst bei den der Haupt-Trasse am nächsten gelegenen Senken bzw. Quellen die Einführung von 2-er-Weichen zu erwägen. Werden 2-er-Weichen an der Haupt-Trasse liegenden Senken zugeordnet, so sollten zunächst die (bezogen auf den Hinweg) der Quelle am nächsten gelegenen Senken berücksichtigt werden.

Die geschilderten Weichenanordnungen dienen entweder der Verkürzung des Hin-Weges eines Transportvorgangs durch Überspringen einer Stich-Strecke oder der Verkürzung des Rück-Weges durch Anordnung von Weichen an Quellen oder Senken, die selbst nicht am Ende der Haupt-Trasse oder am Ende von Stich-Strecken liegen.

Eine Anordnung von 3 Weichen (3-er-Weiche) entsprechend Abbildung 28 stellt eine Kombination dieser beiden Varianten von 2-er-Weichen dar.

Während es sich bei den 2-er-Weichen um 2-Wege-Weichen handelte, wird jetzt zusätzlich als dritte Weiche eine 3-Wege-Weiche erforderlich.

Die dargestellten Anordnungen sind problemlos in Systemen mit konventioneller Steuerung verwendbar, sofern kombinierte Spiele ausschließlich entlang eines für jeden Transportvorgang zwischen einer Quelle und einer Senke eindeutig vorgegebenen Hin- und Rück-Weges erfolgen. Abweichungen sind dann nicht zulässig.

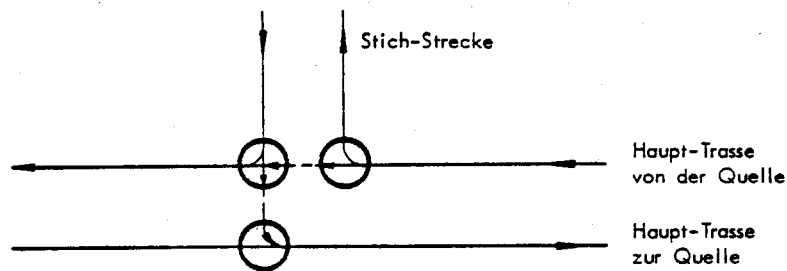


Abb. 28: Anordnung einer 3-er-Weichen-Kombination

Eine Abschätzung von kombinierten Spielen ähnlich der bei der Ringstruktur (vgl. 3.3.1.) ist zwar schwierig, aber analytisch durchaus möglich. Da es jedoch im Sinne der Einführung von Weichen liegt, minimale Hin- und Rück-Wege zu schaffen, nehmen durch die Weichen bedingt die Wahrscheinlichkeiten für kombinierte Spiele ab. Die jeweilige Wahrscheinlichkeit selbst ist anders als bei der Ringstruktur außer von der zeitlichen Verteilung der Hin- und Rück-Transporte und der zentralisierten oder dezentralisierten Anordnung der Quellen wesentlich abhängig von der Gestaltung des horizontalen Wegenetzes, der Anordnung der Senken in diesem sowie der realisierten Möglichkeiten der Einführung von 2-er- und 3-er-Weichen. Außer bei Flurfördersystemen wird die Fahrwerksanzahl nicht beeinflusst, sofern man das dargestellte Berechnungsverfahren (vgl. 3.2.1. und 3.2.4.) verwendet. Gerade Flurfördersysteme werden aber ein Maximum an Weichen realisieren und von daher bereits wesentliche Möglichkeiten der Minimierung der Fahrwerksanzahl ausschöpfen (vgl. 4. und 5.). Zudem müßten in die analytische Berechnung erhebliche Restriktionen durch Einbeziehen von Annahmen über das zeitliche Verhalten des Systems eingebaut werden. Sofern eine hinreichende Nähe zur Realität gewahrt werden soll, erscheint hier allenfalls eine Abschätzung durch stochastische Simulation sinnvoll, die jedoch den Rahmen einer Vorplanung überschreitet. Wegen dieses erheblichen Aufwandes in Verbindung mit den auch auf anderen Wegen abschätzbaren (vgl. 4. und 5.) geringen nur auf Flurförderer wirkenden möglichen Vorteilen werden kombinierte Spiele im Sinne der Überlegungen bei Ringstrukturen (vgl. 3.3.1.) bei Linienstrukturen nicht berücksichtigt.

Der Vollständigkeit halber sei die Anordnung von 4-er-Weichen dargestellt (vgl. Abbildung 29).

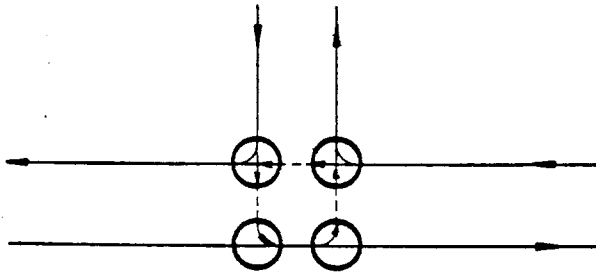


Abb. 29: 4-er-Weichen-Anordnung

Diese Weichenkombination ermöglicht es, bereits auf dem Rück-Weg zur Quelle befindliche Fahrwerke, die keine Wagen transportieren, zu auf dem Weg von der Quelle bereits passierten Senken (oder anderen Quellen) bzw. in vorher 'übersprungene' Stich-Strecken fahren zu lassen, um dort zum Transport bereitstehende Wagen zu übernehmen. Realisiert wird die Anordnung durch 2 3-Wege-Weichen und 2 4-Wege-Weichen. Der Betrieb dieser Weichenkombination bedingt den Einsatz einer Rechnersteuerung, da das den Fahrwerken bei der letzten Abgabe eines Wagens übergebene Fahrziel entweder nicht fest vorgegeben ist oder während der Fahrt verändert werden kann. Im Einzelfall bedarf es eines speziellen Algorithmus, um zu prüfen, ob die durch diese Weichenanordnung zusätzlich geschaffene Variante kombinierter Spiele auch vorteilhaft ist und daher durch ein Fahrwerk realisiert werden soll.

Für die Auswirkungen auf die Anzahl benötigter Fahrwerke gelten in noch stärkerem Maße die Aussagen zur 3-er-Weiche. Im Rahmen dieser Arbeit werden den 4-er-Weichen daher nicht weiter berücksichtigt.

Es wurde zu Anfang beschrieben, wie durch entsprechende Algorithmen die Zweckmäßigkeit des Einführens von Weichenkombinationen geprüft werden kann. Entsprechend den Ursachen der Einführung von Weichen in die Ausgangslösung von Linienstrukturen müssen Weichen angeordnet werden, wenn anders die zulässige Hin-Transportzeit nicht eingehalten werden kann. Sie können darüber hinaus angeordnet werden, wenn so die Anzahl notwendiger Fahrwerke reduziert wird. Dies sollte jedoch entsprechend den verbal beschriebenen Algorithmen nur dann und in dem Umfang erfolgen, in dem der Aufwand für die einzuführenden Weichen geringer ist als der Minderaufwand durch den Wegfall von Fahrwerken (vgl. hierzu 4. und 5.).



#### 4. Verfahren zur Bewertung und Auswahl von AWT-Systemen

Die unter 3. beschriebenen Verfahren führen zur Erzeugung von horizontalen Wegenetzen in Form von Ring- und Linienstrukturen und damit in Verbindung mit dem vertikalen Wegenetz und den Vorgaben der Betriebsplanung zur eindeutigen Dimensionierung aller Arbeitsmittel.

In der Regel ergeben sich mehrere technologische Varianten, die jeweils durch die Anzahl erforderlicher Arbeitsmittel beschrieben werden können. Unterstellt man, daß die Varianten im Einzelfall die geforderte Zuverlässigkeit aufweisen<sup>1)</sup>, da sie sonst wegen fehlender Funktionstüchtigkeit auszuschneiden wären, so bleiben als zu bewertende und zu vergleichende Größen Unterschiede in bezug auf Leistungseigenschaften und ökonomische Gesichtspunkte. Da wiederum festzustellen ist, daß die Leistungseigenschaften zumindest den planerischen Vorgaben entsprechen müssen, da es sich sonst nicht um in den Vergleich einzubeziehende funktionstüchtige Varianten handeln kann, erscheint eine Bewertung von Leistungsunterschieden nur dann sinnvoll, wenn eine Bewertung der ökonomischen Eigenschaften keine signifikanten Unterschiede zwischen zur Auswahl anstehenden Varianten ergibt.

Entsprechend konzentriert sich die Bewertung und Auswahl von AWT-Systemen im Rahmen dieser Arbeit auf die Wirtschaftlichkeit (vgl. /61/).

Üblicherweise werden unter diesem Gesichtspunkt, Auswahlentscheidungen zwischen alternativen Investitionsvorhaben, Verfahren der Investitionsrechnung herangezogen (vgl. /15/). Dabei werden bei den statischen Investitionsrechnungsverfahren Gesichtspunkte der zeitlich unterschiedlichen Entwicklung einzelner Bestandteile von Kosten und Erlösen vernachlässigt und diese Verfahren daher meist abgelehnt. Die dafür empfohlenen dynamischen Verfahren erfordern eine Kenntnis dieser zeitlichen Entwicklung und eine Zuordnung von Kosten und Erlösen zum Investitionsvorhaben.

Diese Zuordnung ist oft nicht oder nicht genügend genau möglich. Für Rationalisierungs- oder Ersatzinvestitionen trifft dies häufig zu. Hier wird daher die Anwendung einer verbesserten (dynamisierten) Kostenvergleichs-

---

1) Zur Frage der Zuverlässigkeit logistischer Systeme vgl. /93/

rechnung empfohlen (vgl. /115/).<sup>1)</sup> Da es sich im vorliegenden Fall um einen Vergleich von von Funktion und Leistung her gleichartigen Investitionsalternativen handelt, für deren Leistung (Transporte) kein Marktpreis als Erlös vorhanden ist und sich auch ein Anteil an den Erlösen des gesamten Krankenhauses kaum genügend genau zurechnen läßt, erscheint dieser Ansatz für die vorliegende Aufgabenstellung zweckmäßig. So, wie von der Leistung her nur das gesamte logistische System betrachtet wird, so sind auch für den Systemvergleich die Gesamtkosten maßgebend (vgl. /99/). Als Zielsetzung der Systemauswahl könnte demnach (in Anlehnung an /99/) gefordert werden, die Variante mit den geringsten Kosten zu bestimmen.

Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, daß es nicht darum geht, den Investitionsaufwand, d.h. die Kosten der Erstellung der Anlage, zu minimieren, sondern die insgesamt von der Planung bis zum Ende der Betriebsphase anfallenden Kosten zu bewerten (vgl. /14, 70/).

Die Lebensdauer der einzelnen Varianten gewinnt damit an Bedeutung. Hier werden unterschiedlichste Werte genannt, wobei sich auch für die einzelnen Anlagenteile (etwa Fahrwerke, Aufzüge, Wagen etc.) wieder unterschiedliche Lebensdauern ergeben (vgl. Angaben bei /111/). Es ist daher erforderlich, zunächst die zu erwartende Lebensdauer für die Komponenten der zur Diskussion stehenden Anlagen-Varianten zu ermitteln.

Unter diesem Gesichtspunkt wurde eine Umfrage unter Firmen durchgeführt, die in der Bundesrepublik AWT-Anlagen anbieten. 13 Unternehmen beteiligten sich (vgl. Tabelle 4). Die genannten Werte entsprechen von der Größenordnung her früher geäußerten Erwartungen (/111/) und bestätigen, daß sie meist deutlich über den in der Industrie üblichen Nutzungsdauern für steuerlich wirksame Abschreibungen liegen (vgl. /111/). Aus der bei Krankenhäusern anders gearteten Zielsetzung wird für den Kostenvergleich die tatsächlich erwartete Lebensdauer zugrundegelegt, sofern dem nicht wesentliche

---

1) Tatsächlich geht das (bei /115/) vorgeschlagene Verfahren über den reinen Kostenvergleich hinaus, da Kosteneinsparungen der neuen Anlage und Restwert der alten Anlage durch entsprechende Diskontierung einen Barwert ergeben und sich das Verfahren so letztlich der bekannten dynamischen Investitionsrechnung annähert

Tab. 4: Ergebnisse der Umfrage zur Lebensdauer von AWT-Systemen  
(Stand Mai 1978)

| Anlagenteil               | Anzahl Nennungen | Minimalwert<br>[Jahre] | Maximalwert<br>[Jahre] | Mittelwert<br>[Jahre] |
|---------------------------|------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|
| AWT-Anlage insgesamt      | 11               | 10                     | 50                     | 23,8                  |
| Wagen                     | 10               | 5                      | 20                     | 11,7                  |
| Fahrwerk<br>Hängebahn     | 4                | 10                     | 15                     | 14                    |
| Fahrwerk<br>Flurförderer  | 6                | 10                     | 30                     | 16,4                  |
| Batterie<br>Flurförderer  | 5                | 2                      | 5                      | 4                     |
| Schiene<br>Hängebahn      | 5                | 25                     | 50                     | 39,2                  |
| Leitdraht<br>Flurförderer | 5                | 10                     | 40                     | 24,3                  |
| Weichen<br>Hängebahn      | 4                | 20                     | 25                     | 21,0                  |
| Förderer<br>(verbindende) | 5                | 15                     | 25                     | 19,2                  |
| Aufzüge                   | 9                | 10                     | 40                     | 23,3                  |
| Steuerung                 | 9                | 15                     | 50                     | 25                    |

Gesichtspunkte entgegenstehen<sup>1)</sup>. Geht man davon aus, daß der Ersatz wesentlicher Teile in Verbindung mit einer längeren Stillsetzung der Anlage (etwa für die Neuinstallation und Inbetriebnahme von Schienen bzw. Leitdraht, Aufzügen oder Steuerung) als Neu-Investition angesehen werden kann, so bilden

1) Einmal sollte die Lebensdauer nicht höher angesetzt werden als die voraussichtliche Nutzungsdauer bzw. Rest-Nutzungsdauer als Krankenhaus des mit der Anlage verbundenen Gebäudes (vgl. /111/). Zum anderen ist zu bedenken, daß ein Ersatz von Schienen bzw. Leitdraht, der Steuerung oder von Aufzügen kaum ohne längere Betriebsunterbrechungen der Anlage mit entsprechenden Auswirkungen auf den Krankenhausbetrieb möglich ist

25 Jahre offensichtlich eine Obergrenze für die anzusetzende Lebensdauer. Der Entwurf einer Bundesrats-Verordnung zu dieser Problematik /152/ geht von 15 bis 30 Jahren aus<sup>1)</sup>. Auch aus den genannten Werten (vgl. Tabelle 4) erscheinen 15 Jahre als sinnvolle Untergrenze, da bei den Mittelwerten der angegebenen Werte lediglich die jederzeit problemlos zu ersetzenden Wagen oder Batterien eine kürzere Lebensdauer aufweisen.

Setzt man für den Kostenvergleich entsprechend einen Planungshorizont, das ist der Zeitraum, für den die Planung gelten soll (vgl. /108/), von 15 bis 25 Jahren an, so sind in jedem Falle während der so angenommenen Lebensdauer der Gesamtanlage Ersatzinvestitionen für einzelne Anlagenteile erforderlich.

Geht man für ein beliebiges Anlagenteil von einer zu erwartenden Lebensdauer  $n_L$  [Jahre] und einem Planungshorizont von  $n_p$  [Jahre] aus, so sind demnach für die Berechnung der Abschreibungen 2 Fälle zu unterscheiden:

$$n_L \geq n_p \quad \text{und} \quad n_L < n_p$$

Geht man von linearen Abschreibungen, einem Investitionsaufwand  $I$  für dieses Anlagenteil, jährlich um  $p$  [%] steigenden Wiederbeschaffungspreisen sowie Restwerten bzw. Abbruchkosten von 0 bei Ablauf von  $n_L$  und  $n_p$  aus, so ergeben sich jährliche Abschreibungen

$$\text{für } n_L \geq n_p \quad \text{zu} \quad \frac{I}{n_p},$$

während für  $n_L < n_p$  zu berücksichtigen ist, daß sich unter der Voraussetzung  $n \cdot n_L + m = n_p$  mit  $n = 1, 2, 3, \dots$  und  $0 \leq m < n_p$  ( $m$  ganzzahlig)

$$\text{für die 1. } n_L \text{ Jahre Abschreibungen von } \frac{I}{n_L} \cdot \left(1 + \frac{p}{100}\right)^{(1-1) \cdot n_L},$$

$$\text{für die 2. } n_L \text{ Jahre Abschreibungen von } \frac{I}{n_L} \cdot \left(1 + \frac{p}{100}\right)^{(2-1) \cdot n_L}$$

bzw. allgemein für die  $n$ . Periode aus  $n_L$  Jahren Abschreibungen von  $\frac{I}{n_L} \left(1 + \frac{p}{100}\right)^{(n-1)n_L}$  und sofern  $m > 0$  für die letzten  $m$  Jahre Abschreibungen von

$$\frac{I}{m} \cdot \left(1 + \frac{p}{100}\right)^{n \cdot n_L} \text{ ergeben.}$$

1) Das Bundesbaugesetz geht von einer technischen Lebensdauer von 20 bis 25 Jahren aus /145/

Obwohl sich für den Kostenvergleich entsprechend der durch die Automatisierung bedingten hohen Substituierung von Personal- durch Kapitalkosten fast ausschließlich Kapitalkosten ergeben, würden demnach bei Differenzen zwischen  $n_p$  und  $n_L$  sich auch die Kapitalkosten, die ja während der Lebensdauer als konstant angesehen werden können, innerhalb des Planungshorizonts verändern. Dies ist dann für den Kostenvergleich ohne Relevanz, wenn der wertmäßige Anteil aller 'Lebensalterklassen' für die einzelnen Varianten jeweils gleich ist. Gibt es hier Unterschiede und will man diese auch hinsichtlich der Kosten transparent machen, empfiehlt es sich, die Auswirkungen der unterschiedlichen Abschreibungsbeträge durch Diskontierung auf einen Bezugszeitraum (etwa das 1. Betriebsjahr) vergleichbar zu machen.

Für Kostenvergleiche im Rahmen dieser Arbeit wurde davon ausgegangen, daß der 'fiktive' Abschreibungsbetrag zu ermitteln ist, der ausgehend von der Lebensdauer  $n_L$  in gleicher Höhe über den Zeitraum  $n_p$  so 'abgeschrieben' wird, daß die Differenzbeträge zwischen den Abschreibungsbeträgen auf der Basis der jeweiligen Beschaffungs- bzw. Wiederbeschaffungswerte und diesem 'fiktiven' Abschreibungsbetrag bei einer jährlichen Verzinsung zu  $r$  % einen Restwert nach Ablauf von  $n_p$  Jahren von 0 ergeben.

Bezeichnet man die Differenz zwischen der Abschreibung in den ersten  $n_L$  Jahren sowie dieser fiktiven Abschreibung mit  $A$ , so ergibt sich folgender Ansatz

aufgelaufene Differenzen + Verzinsung dieser Differenzen =  
Wiederbeschaffungswerte - kalkulatorischer Abschreibung nach  
den ersten  $n_L$  Jahren

d.h.

$$n \cdot n_L \cdot A + \frac{1}{2} n \cdot n_L \cdot A \cdot \left(1 + \frac{r}{100}\right)^{n' \cdot n_L} + m \cdot A = \sum_{i=2}^n \frac{1}{n_L} \cdot \left(1 + \frac{p}{100}\right)^{(i-1) \cdot n_L} - (n_p - n_L) \cdot \frac{1}{n_L}$$

Für  $A$  ergibt sich

$$A = \frac{\sum_{i=2}^n \frac{1}{n_L} \cdot \left(1 + \frac{p}{100}\right)^{(i-1) \cdot n_L} - (n_p - n_L) \cdot \frac{1}{n_L}}{n \cdot n_L + \frac{1}{2} n \cdot n_L \left(1 + \frac{r}{100}\right)^{n' \cdot n_L} + m}$$

mit  $n' = n$  für  $m > 0$

$n' = n - 1$  für  $m = 0$

Gilt ein fiktiver Abschreibungsbetrag  $= f \cdot \frac{I}{n_L}$ , so ergibt sich der Faktor

$$f = \frac{A + \frac{I}{n_L}}{\frac{I}{n_L}}$$

Da in /143/ aufgrund von Analysen der Preisindexreihen für verschiedene Anlagegüter Steigerungsraten  $p$  für Wiederbeschaffungswerte von 3,5 bis 5 % p.a. genannt werden, wurde für Rechnungen in dieser Arbeit angesichts schwächerer allgemeiner Preissteigerungen in jüngster Zeit ein Satz von  $p = 3,5$  % zugrundegelegt. In Verbindung mit einem angenommenen Zinssatz von  $r = 8$  % p.a. und in Anlehnung an in Tabelle 4 angenommene Lebensdauerwerte ergeben sich in Abhängigkeit der alternativ gewählten Planungshorizonte von 15, 20 und 25 Jahren die Faktoren der Tabelle 5 zur Bestimmung der in den Kostenvergleich eingehenden fiktiven Abschreibungsbeträge.

Tab. 5: Faktoren zur Bestimmung fiktiver Abschreibungsbeträge

| Lebensdauer $n_L$ [Jahre]        | Faktor zur Ermittlung fiktiver Abschreibungen<br>bei Planungshorizont $n_p$ Jahre |            |            |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|------------|
|                                  | $n_p = 25$                                                                        | $n_p = 20$ | $n_p = 15$ |
| 4 für Batterien                  | 1,1873                                                                            | 1,1442     | 1,1628     |
| 10 für Wagen                     | 1,3934                                                                            | 1,1333     | 1,3530     |
| 15 für Fahrwerke                 | 1,3101                                                                            | 1,4597     | 1          |
| 20 für Weichen, Förderer<br>etc. | 1,4851                                                                            | 1          | —          |
| 25 für andere Anlagen-<br>teile  | 1                                                                                 | —          | —          |

In die Kapitalkosten gehen außer den Abschreibungen üblicherweise auch Zinsen ein. Man könnte versucht sein, Zinsen außer Ansatz zu lassen, da der Staat als Investor auftritt (vgl. Krankenhausfinanzierungsgesetz /46/) und selbst zwar üblicherweise Zinsen für Kredite zahlt, aber keine Zinsen für eigenes Kapital erhält. Da aber Zinsen durchaus vom Gesetzgeber im Rahmen der Förderungsmaßnahmen berücksichtigt werden (vgl. /46/), sollten Zinsen als Maßstab für die Knappheit des Kapitals berücksichtigt werden.

Hier ist zu prüfen, ob von Kapitalmarktzinsen (vgl. /97/) oder von kalkulatorischen Zinsen (vgl. /52/) ausgegangen werden soll. Um den Einfluß schwankender Kapitalmarktzinsen auf das Ergebnis des Kostenvergleichs zu eliminieren, werden im Rahmen dieser Arbeit kalkulatorische Zinsen (von 8 % p.a.) zugrundegelegt. Die Zinsen werden bezogen auf ein fiktives Kapital entsprechend der Summe der fiktiven jährlichen Abschreibungen berechnet.

Damit bilden die für nur 1 Jahr ausgewiesenen Kapitalkosten einen echten Vergleichsmaßstab für das dargestellte dynamische Kostenvergleichsverfahren. Energiekosten werden wegen erheblicher Schwierigkeiten bei der Berechnung bei zugleich ausgesprochen niedrigem Anteil an den Gesamtkosten vernachlässigt. Die Instandhaltungskosten werden mit 3,5 % vom Investitionsaufwand angenommen<sup>1)</sup> und lediglich für das 1. Betriebsjahr ausgewiesen. Sie unterliegen der Dynamisierung. In den Benutzerkosten (Pflegesatz) sind von den so berechneten Kosten lediglich die Instandhaltungskosten enthalten /46, 152/. Ein falscher Ansatz der Lebensdauer bzw. ein falsch gewählter Planungshorizont beeinflusst diese demnach nicht (vgl. auch /52/). Es sollte darauf hingewiesen werden, daß im Hinblick auf den Pflegesatz Flurfördersysteme als benachteiligt erscheinen, da auch die Wiederbeschaffung von Batterien über den Pflegesatz finanziert werden soll /152/.

Entgegen der bei Krankenhäusern üblichen Praxis wird aus volkswirtschaftlichen Gründen von Netto-Preisen (ohne Mehrwertsteuer) ausgegangen (vgl. /111/). Die Vergleichbarkeit automatisch arbeitender Technologien untereinander wird durch die Einbeziehung bzw. das Nicht-Berücksichtigen der Mehrwertsteuer nicht berührt. Ein Vergleich mit Systemen, bei denen Personalkosten eine größere Rolle spielen (etwa manuelle Hol- und Bringendienste) würde dagegen bei Entfall der Steuer tendenziell das automatische System und bei Brutto-Preisen (mit Mehrwertsteuer) das personalintensivere System begünstigen (vgl. /98/).

Im Einzelfall sind die Anlagenteile hinsichtlich Dimensionierung und Anzahl zu berechnen (vgl. 3.) und mit Schätzpreisen zu bewerten. Daraus ergibt sich der jeweilige Investitionsaufwand. Aus diesem lassen sich unter Zu-

---

1) Hier gibt es unterschiedliche Angaben, die jeweils etwa zwischen 2 und 7 % liegen. Der angenommene Wert dürfte über den tatsächlich realisierbaren Werten liegen (vgl. /16, 92/)

grundelegung von Lebensdauerklassen für einen Planungshorizont nach der hier abgeleiteten dynamischen Kostenvergleichsrechnung eindeutige Präferenzen für bestimmte Vorzugsvarianten der sich im Rahmen der Vorplanung als funktionstüchtig erwiesenen Systemalternativen bilden.

Die für die einzelnen Technologien aufgrund von Befragungen bei Betreibern und Planern verwendeten Anhaltswerte enthält Tabelle 6.

Tab. 6: Überschlägige Angabe der verwendeten Anhaltswerte (Stand Mitte 1978)

| System<br>Anlagenteil             | Anhaltswerte [DM]                                                  |                          |                               |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|
|                                   | Hängeseilbahn/Aufzug                                               | Flurförderer/Aufzug      | Kontinuierliche Hängeseilbahn |
| Fahrwerk                          | 5.000 - 17.000                                                     | 50.000 - 95.000          | 20.000 - 25.000               |
| Schiene bzw. Leitdraht<br>je m    | 250 - 650                                                          | 220 - 300                | 700 - 800                     |
| 90°-Kurve                         | 1.000 - 2.000                                                      | 300 - 650                | 2.000 - 2.500                 |
| Weiche/Verzweigung                | 5.000 - 21.000                                                     | 1.000 - 2.000            | 25.000 - 30.000               |
| Sende- bzw. Empfangs-<br>station  | 8.000 - 30.000                                                     | 4.000 - 11.000           | 30.000 - 50.000               |
| Übergabe vertikal -<br>horizontal | 8.000 - 30.000                                                     | 0 <sup>1)</sup> - 9.000  | -                             |
| Vertikalschiene m                 | -                                                                  | -                        | 1.400 - 1.600                 |
| je Aufzugskabine                  | 3.500 - 21.000                                                     | 0 <sup>1)</sup> - 21.000 | -                             |
| Batterie                          | -                                                                  | 2.000 - 9.000            | -                             |
| Wagen (Speisen)                   | 3.500                                                              |                          |                               |
| sonstige Wagen                    | 3.000                                                              |                          |                               |
| Einzelkabinenaufzug               | $55.000 \text{ [DM]} + 1.500 \text{ [DM/m]} \cdot FH \text{ [m]}$  |                          | -                             |
| Doppelkabinenaufzug               | $100.000 \text{ [DM]} + 2.800 \text{ [DM/m]} \cdot FH \text{ [m]}$ |                          | -                             |

1) Fahrwerk fährt in Aufzug ein



## 5. Anwendung des Planungsverfahrens

Ausgehend von der Beschreibung der Aufgabenstellung und der Randbedingungen (vgl. 2.) wurde in den Abschnitten 3. und 4. dieser Arbeit ein Verfahren zur Vorplanung von AWT-Systemen entwickelt. Das dargestellte Verfahren wurde unter Einbeziehung bestimmter Annahmen und zulässiger Vereinfachungen für die in 3.1. beschriebenen technologischen Varianten programmiert und auf einem Rechner implementiert.

Die Dimensionierung der statischen Anlagenteile wird durch die gewählte Struktur (Linien- bzw. Ringstruktur) und das vorhandene Gebäude vorgegeben. Unterschiede in den dynamischen Anlagenteilen, d.h. der erforderlichen Anzahl etwa der Arbeitsmittel Fahrwerke und Aufzüge, werden wesentlich durch deren Geschwindigkeiten sowie die Art der Übergabe von Wagen zwischen horizontalem und vertikalem Netz bewirkt. Bei Flurfördersystemen ist zusätzlich der Einfluß der Batteriekapazität auf die Anzahl erforderlicher Fahrwerke zu beachten (vgl. 3.2.4., S. 55 f.). Daher wurden bei den Varianten 'Hängbahn-Fahrwerke in Verbindung mit Aufzügen' (vgl. 3.1.3., S. 40 ff.) Alternativen hinsichtlich technischer Grundgrößen (vgl. 3.2.3., S. 53 f.) und der für die Wirtschaftlichkeitsrechnung verwendeten Anhaltswerte (vgl. 4., S. 77) zugelassen, so daß je Rechengang 9 Alternativen zu berechnen waren. Hierbei handelt es sich entsprechend der Numerierung der Rechner-Ausdrucke um

### Hängbahn-Fahrwerke in Verbindung mit Aufzügen

#### Alternative 1

Horizontalgeschwindigkeit bis maximal  $1,33 \text{ [m/s]}$ ,  
Übergabe von Wagen zwischen horizontalem und vertikalem  
Wegenetz durch Stetigförderer

#### Alternative 2

Horizontalgeschwindigkeit bis maximal  $1,0 \text{ [m/s]}$ ,  
Übergabe von Wagen zwischen horizontalem und vertikalem  
Wegenetz durch Stetigförderer

#### Alternative 3

Horizontalgeschwindigkeit bis maximal  $1,0 \text{ [m/s]}$ ,  
Übergabe von Wagen zwischen horizontalem und vertikalem  
Wegenetz durch Verschiebewagen

## Alternative 4

Horizontalgeschwindigkeit bis maximal  $1,33 \text{ [m/s]}$ ,  
 Übergabe von Wagen zwischen horizontalem und vertikalem  
 Wegenetz durch Stetigförderer (gegenüber Alternative 1  
 Unterschiede in den verwendeten Anhaltswerten)

## Alternative 5

Horizontalgeschwindigkeit bis maximal  $0,7 \text{ [m/s]}$ ,  
 Übergabe von Wagen zwischen horizontalem und vertikalem  
 Wegenetz durch Stetigförderer

Kontinuierlich horizontal und vertikal fahrende Hängbahn

## Alternative 6

Horizontalgeschwindigkeit bis maximal  $1,0 \text{ [m/s]}$ ,  
 Vertikalgeschwindigkeit bis maximal  $0,5 \text{ [m/s]}$

Flurförder-Fahrwerke in Verbindung mit Aufzügen

## Alternative 7

Horizontalgeschwindigkeit bis maximal  $1,5 \text{ [m/s]}$ ,  
 Übergabe von Wagen zwischen horizontalem und vertikalem  
 Wegenetz durch Stetigförderer, Beschränkung der Batterie-  
 kapazität auf eine Summe an Spielzeiten je Schicht von  
 maximal ca.  $10 \text{ [h]}$

## Alternative 8

Horizontalgeschwindigkeit bis maximal  $1,2 \text{ [m/s]}$ ,  
 Übergabe von Wagen zwischen horizontalem und vertikalem  
 Wegenetz durch Mitfahrt der Fahrwerke in den Aufzügen,  
 Beschränkung der Batteriekapazität auf eine Summe an  
 Spielzeiten je Schicht von maximal ca.  $6 \text{ [h]}$

## Alternative 9

Horizontalgeschwindigkeit bis maximal  $1,33 \text{ [m/s]}$ ,  
 Übergabe von Wagen zwischen horizontalem und vertikalem  
 Wegenetz durch Verschiebewagen, Beschränkung der Batterie-  
 kapazität auf eine Summe an Spielzeiten je Schicht von  
 maximal ca.  $4 \text{ [h]}$

Prinzipiell treten bei allen Alternativen in Anlehnung an realisierte Anlagen geringere Unterschiede bei Kurvenradien, Übernahme- bzw. Abgabezeiten für Wagen, verwendeten Stetigförderern etc. sowie der für die Wirtschaftlichkeitsrechnung zugrundegelegten Anhaltswerte auf.

Unterscheidet man zwischen deterministischer und stochastischer Simulation (vgl. etwa /21, 37, 45, 61, 112/), so kann das Planungsverfahren als Modell einer deterministischen Simulation aufgefaßt werden. Üblicherweise sind Systeme mit steigender Automatisierung zugleich zunehmend determiniert /61/. Da AWT-Systeme hoch automatisiert sind, wurde das Verfahren als Instrument der Vorplanung sowie als Methode zur Gewinnung von Aussagen über spezifische Vor- und Nachteile einzelner Technologien sowie der Auswirkungen betriebsplanerischer Vorgaben auf die zu erwartenden Kosten gewählt.

Eine stochastisch-dynamische Simulation wäre geeignet, die Grenzen der so dimensionierten Systeme aufzuzeigen (vgl. /32/). Sie ist demnach dann erforderlich und notwendig, wenn entweder das System sehr komplex ist und sich die Auslastung der Arbeitsmittel deren Kapazitätsgrenzen nähert und/oder das AWT-System vorrangig als Spontan-Transportanlage verstanden wird (vgl. /124/ und 2.2.5.). Selbst wenn letzteres in gewissem Umfang der Fall ist, können auch bei stochastischem Verhalten des Systems die verwendeten Werte als Mittelwerte oder Erwartungswerte der stochastischen Größen aufgefaßt werden /45/.

### 5.1. Beschreibung des Planungsmodells

Grundlagen des Planungsverfahrens sind technologische Daten des jeweiligen AWT-Systems, die architektonische Struktur des Krankenhauses (aufbauend auf der Größe der vorhandenen Pflegeeinheiten) sowie Angaben über die geforderte Betriebsorganisation.

Aufgrund einer Marktanalyse wurde festgestellt, daß im Regelfall davon ausgegangen werden kann, daß ein AWT-Wagen eine Masse von bis zu ca.  $250 \text{ [kg]}$  und ein Volumen von bis zu  $1,5 \text{ [m}^3\text{]}$  transportieren kann. Diese Transportkapazität wird meist nicht voll ausgeschöpft. Andererseits kann sie auch nicht überschritten werden, so daß sie auf der Basis der ermittelten Angaben über das Transportgutaufkommen (vgl. 2.2.1., S. 16 ff) einen Maß-

stab für den Zusammenhang zwischen der minimal erforderlichen Bedienhäufigkeit und der Größe einer Pflegeeinheit liefert. Entsprechende Angaben enthält Tabelle 7.

Tab. 7: Zusammenhang zwischen minimal erforderlicher Bedienhäufigkeit und maximal zulässiger Größe einer Pflegeeinheit (bezogen auf 1 Wagen/Pflegeeinheit)

| Größe einer mit 1 Wagen zu ver- bzw. entsorgenden Pflegeeinheit<br>[Planbetten] | Bedienhäufigkeit         |                            |                            |
|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                                                                                 | täglich<br>(bzw. 1)      | jeden 2. Tag<br>(bzw. 1/2) | jeden 3. Tag<br>(bzw. 1/3) |
| Transportgut                                                                    |                          |                            |                            |
| Reinwäsche                                                                      | 39                       | 19                         | 13                         |
| Schmutzwäsche                                                                   | 32                       | 16                         | 10                         |
| Müll                                                                            | 60                       | 30                         | 20                         |
| Speisen                                                                         | bis 45 je Verteilvorgang |                            |                            |

Auf der Basis der (unter 2.2.5.) vorgeschlagenen Betriebsorganisation empfiehlt es sich daher, hinsichtlich der Größe von Pflegeeinheiten einen Bereich von etwa 16 bis 32 Betten zu betrachten. Für 32 Betten ergibt sich damit für die wesentlichen Transportgüter als minimal erforderliche Bedienhäufigkeit/Tag mit 1 Wagen:

2 - 5      bei Speisen (gewählt als Regelfall 4)  
1          für Reinwäsche und für Schmutzwäsche  
1/2        für Müll

Bei Verringerung der Bettenzahl je Pflegeeinheit ergibt sich eine Änderung dieser Werte erst bei ca. 16 Betten mit Bedienhäufigkeit/Tag

1/2          für Reinwäsche und für Schmutzwäsche  
1/4 bis 1/3      für Müll.

Mit dem genannten Bereich von 16 bis 32 Betten/Pflegeeinheit sind zugleich fast alle üblichen Größen von Pflegeeinheiten erfaßt (vgl. 2.2.2., S. 19 ff.).

Bei den Berechnungen wird davon ausgegangen, daß je logischer Senke für jede Quelle ein Wagen existiert (organisatorisch einfachste Variante). Wagen-Wasch- und -Desinfektionsanlagen, automatische Wagenspeicher und Fahrwerksbahnhöfe werden nicht berücksichtigt. Ferner bleiben Baunebenkosten außer Ansatz.

Die Lösung der Planungsaufgabe für die Auswahl und Anordnung dieser Elemente kann prinzipiell nur projektbedingt erfolgen und muß insbesondere die baulichen Gegebenheiten (etwa die beabsichtigte Realisierung des Flächen- und Raumprogramms) sowie bei Sanierung von Altbauten gegebene Flächen- bzw. Raumbeschränkungen berücksichtigen.

Für die auf Flurfördersystemen basierenden Varianten wird von einer zentralen Rechnersteuerung ausgegangen, da diese Technologie mit anderer Steuerung nur selten angeboten wird. Bei den übrigen Varianten wird eine konventionelle Steuerung angenommen.

Bei Linienstrukturen können sich Lösungen mit Weichen ergeben. Hier werden 2-er-Weichen immer dann eingeführt, wenn anders eine geforderte maximal zulässige Hin-Transportzeit ( $T_{\text{Hin}_{\text{max}}}$ ) nicht eingehalten werden kann. Dabei findet der unter 3.3.2. beschriebene Algorithmus Verwendung.

Sofern Weichen ausschließlich der Reduzierung des insgesamt erforderlichen Investitionsaufwandes (durch Einführung von 2-er- und/oder 3-er-Weichen) dienen sollen, wird von dem unter 3.3.2. beschriebenen Vorgehen abgewichen. Eine Prüfung jeder nur denkbaren Kombination von Anordnungsmöglichkeiten würde entsprechend den kombinatorischen Möglichkeiten zu einer sehr grossen Zahl solcher Kombinationen führen, wobei je Kombination das programmierte Modell durchgerechnet werden müßte. Dies führt ggf. zu einem erheblichen Anstieg der erforderlichen Rechenzeit.

Statt dessen wurden nur 2 Rechengänge zugelassen, in denen jeweils zugleich alle denkbaren Anordnungen von 2-er- bzw. 3-er-Weichen berücksichtigt werden. Damit wird ggf. die maximal mögliche Einsparung an Fahrwerken bewirkt. Da jedoch zugleich ein Maximum an Weichen eingeführt wird,

kann dies dazu führen, daß wegen der Preisrelation Fahrwerke - Weichen bei Hängebahnsystemen eine Einführung von Weichen unterbleibt, obwohl möglicherweise ein sukzessives Prüfen aller denkbaren Weichen-Kombinationen eine Möglichkeit zur Einführung von Weichen nachgewiesen hätte.

Der damit u.U. auftretende Fehler läßt sich abschätzen, da wegen der anders gearteten Preisrelation Fahrwerke - Weichen bei Flurfördersystemen stets Weichen eingeführt werden, sofern auch nur 1 Fahrwerk eingespart werden kann. Aus dem Vergleich der Ergebnisse der einzelnen Varianten ergibt sich die Abschätzung möglicher unberücksichtigter Einsparungen von Fahrwerken auch für Hängebahnsysteme.

Es wird davon ausgegangen, daß alle Quellen in einer Ebene angeordnet sind. Sofern es sich in der Realität um mehrere Ebenen handelt (vgl. Beispiele bei /98/), ergeben sich dann wesentliche Abweichungen, wenn mehr als eine Vertikale vorhanden ist und/oder die Quellen an der Peripherie des Krankenhauses liegen.

Sind die Quellen an eine auch für die Pflegeeinheiten erforderliche Vertikale angebunden, kann sich deren Belastung erhöhen und u.U. die vorhandene Transportkapazität überschreiten und damit zusätzliche Aufzüge erforderlich machen. Ist dies nicht der Fall, so verkürzen sich im Vergleich zur Anordnung auf nur 1 Ebene die horizontalen Wege und erhöhen sich die Längen der Vertikalen. Der Aufwand für die Transporttechnik zur Bedienung eines zusätzlichen Geschosses entspricht dabei in etwa einem Horizontalweg von ca. 20 m (vgl. Anhaltswerte der Tabelle 6, S. 77).

In allen übrigen Fällen, in denen keine bereits für die Pflegeeinheiten erforderlichen Vertikalen zur Anbindung der Quellen verwendet werden können, werden stets weitere Aufzüge erforderlich, was zu entsprechenden Mehraufwendungen führt.

Bei der vorgenommenen Vereinfachung in bezug auf die Anordnung der Quellen handelt es sich demnach um eine kostenmäßig keinesfalls ungünstige Variante, die jedoch in Einzelfällen u.U. Ergänzungen des Planungsergebnisses erforderlich macht.

Die Dimensionierungsrechnung selbst geht unter Berücksichtigung der vorstehend genannten Beschränkungen aus von der Speisenverteilung. Bei Einbeziehung der jeweils vorgegebenen Gesamtbetriebszeit je Tag, den Bedienungshäufigkeiten für einzelne Transportgüter (bzw. entsprechende Quellen-Senken-Beziehungen), der maximal zulässigen Hin-Transportzeit ( $T_{\text{Hin}_{\text{max}}}$ ), der minimalen Aufenthaltszeit an der Senke ( $T_{\text{Auf}}$ ) sowie der zulässigen Verteilzeit ( $T_{\text{offen}}$ ) läßt sich die Rechnung in der dargestellten Weise durchführen (vgl. 3.2.).

Für die von und zu anderen Quellen als der Küche auszuführenden Transporte wird angenommen, daß diese völlig gleichmäßig verteilt außerhalb der Speisenverteilzeiten ausgeführt werden. Damit ergibt sich die Möglichkeit, für jede einzelne Quelle eine Dimensionierungsrechnung entsprechend der für die Speisenverteilung durchzuführen. Ergeben sich höhere Anforderungen an Aufzüge und Fahrwerke (als bei der ersten Rechnung), werden die zunächst berechneten Werte entsprechend korrigiert.

Nachdem für alle Quellen solche Rechnungen durchgeführt wurden, konnte für die gesamte Betriebszeit anhand der insgesamt erforderlichen Einzelspiele und kombinierten Spiele die Fahrwerksanzahl für Flurförderzeuge aufgrund der geforderten Batteriekapazität überprüft werden (vgl. 3.2.4., S. 56).

Für alle 9 Alternativen der 3 Technologien werden durchschnittliche Fahrleistungen, zeitliche Auslastungen der Fahrwerke ermittelt etc. und die einzelnen Anlagenteile bewertet, um anhand eines Kostenvergleichs eine Vorzugsvariante zu ermitteln.

Mit Hilfe dieses Planungsmodells wurde das Verfahren auf verschiedene praxisnahe Fälle angewendet (vgl. 5.2., S. 85 ff.) und ausgehend von unterschiedlichsten Strukturen der baulichen Anordnungen (vgl. 8. Anhang, S. 144 ff.) die Unterschiede zwischen den einzelnen Technologien sowie die Auswirkungen von Parameterveränderungen dargestellt (vgl. 5.3., S. 105 ff.).

## 5.2. Anwendungsbeispiele

Anhand der Anwendung auf 3 Krankenhausanlagen soll im folgenden das Planungsverfahren vorgestellt werden.

### 5.2.1. Krankenhausneubau mit linienförmiger Anordnung der Pflegeeinheiten

Es handelt sich um ein Haus mit folgenden Daten:

- 792 Betten in Pflegeeinheiten zu je 18 Betten;
- 2 nebeneinanderliegende Bettenhäuser mit 9 bzw. 2 Pflegegeschossen;
- Anordnung der Quellen im Untergeschoß des größeren Bettenhauses; die Lage der Quellen, Pflegeeinheiten und Vertikalen ist in Abbildung 30 dargestellt (diese entspricht der Struktur 6 des Anhangs).

Die Planungsaufgabe wird durch folgende Angaben beschrieben:

|                                                                              |      |            |
|------------------------------------------------------------------------------|------|------------|
| Betriebszeit gesamt                                                          | 12,5 | [Stunden]  |
| Speisenverteilzeit $T_{\text{offen}}$                                        | 2,5  | [Stunden]  |
| Minimale Aufenthaltsdauer eines Wagens in der Pflegeeinheit $T_{\text{Auf}}$ | 40   | [Minuten]  |
| Maximal zulässige Hin-Transportzeit $T_{\text{Hin}_{\text{max}}}$            | 15   | [Minuten]  |
| Abfertigungsrate $T_{\text{Abf}}$                                            | 108  | [Sekunden] |
| Bedienhäufigkeit der Quelle Küche                                            | 3    |            |
| " " " Wäscherei                                                              | 1    |            |
| " " " Müllentsorgung                                                         | 1/2  |            |
| " " " Labor                                                                  | 1/3  |            |
| " " " Sonstiges                                                              | 1/5  |            |
| Sockelmaß SM                                                                 | 10,0 | [m]        |
| Geschoßhöhe GH                                                               | 3,0  | [m]        |

Eine Übersicht über einige dieser, die Planungsaufgabe charakterisierenden Daten zeigt der Computer-Ausdruck der Abbildung 31.



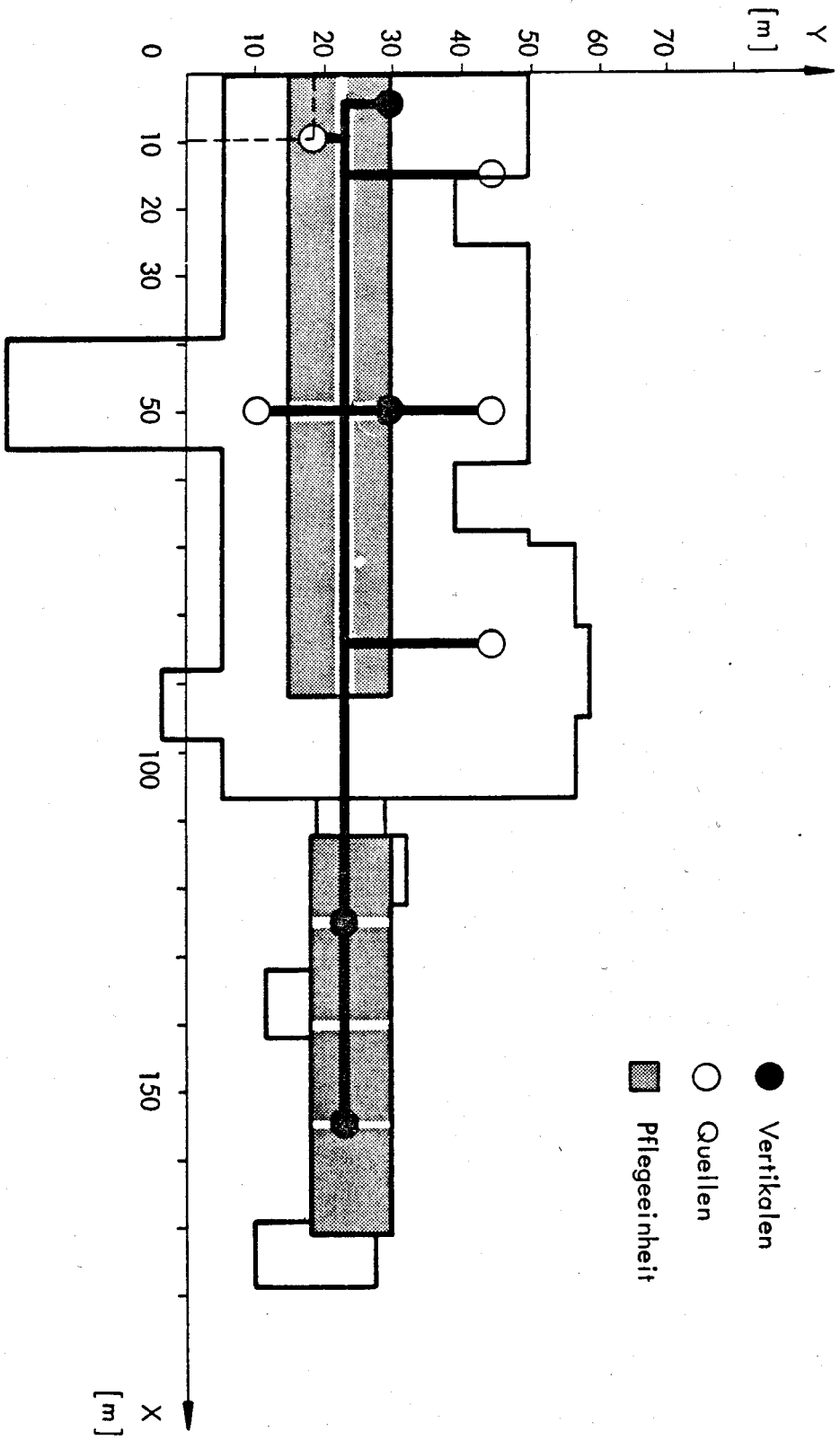


Abb. 30: Layout des Anwendungsbeispiels mit linienförmiger Anordnung der Pflegeeinheiten

KOORDINATEN DER QUELLEN

LINIENSTRUKTUR

| X         | Y         |
|-----------|-----------|
| 1.000E+01 | 1.800E+01 |
| 1.500E+01 | 4.500E+01 |
| 5.000E+01 | 1.000E+01 |
| 5.000E+01 | 4.500E+01 |
| 8.500E+01 | 4.500E+01 |

KOORDINATEN DER VERTIKALEN

| X         | Y         | ANZAHL DER EBENEN | ANZAHL DER ANGEBOUNDENE PFLEGE-EINHEITEN |
|-----------|-----------|-------------------|------------------------------------------|
| 5.000E+00 | 3.069E+01 | 9.000E+00         | 2.000E+00                                |
| 5.000E+01 | 3.069E+01 | 9.000E+00         | 2.000E+00                                |
| 1.250E+02 | 2.300E+01 | 2.000E+00         | 2.000E+00                                |
| 1.550E+02 | 2.300E+01 | 2.000E+00         | 2.000E+00                                |

|                                       |           |                       |
|---------------------------------------|-----------|-----------------------|
| BEDIENHAEUFIGKEIT DER KUECHE          | 3.000E+00 |                       |
| BEDIENHAEUFIGKEIT DER ANDEREN QUELLEN | 5.000E+01 |                       |
| OEFFNUNGSZEIT DER HAUPTZENTRALE:      | 3.000E+00 | MAL 2.500E+00 STUNDEN |
| OEFFNUNGSZEIT DER NEBENZENTRALEN:     | 5.000E+00 | STUNDEN               |

Abb. 31: Darstellung ausgewählter Daten der Planungsaufgabe

Eine Zusammenfassung wesentlicher Ergebnisse der Dimensionierungsrechnung für die 9 in 5.1. beschriebenen Alternativen der untersuchten Technologien auf der Basis einer Linienstruktur enthält der Ausdruck in Abbildung 32.

RESTRIKTIONEN HABEN ZU FOLGENDEN VERÄNDERUNGEN GEFÜHRT

|                       |         | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
|-----------------------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| DOPPELKABINENAUFZUEGE | VORHER  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
|                       | NACHHER | 4   | 4   | 2   | 4   | 4   | 0   | 4   | 4   | 4   |
| EINZELKABINENAUFZUEGE | VORHER  | 8   | 8   | 8   | 8   | 8   | 0   | 8   | 8   | 8   |
|                       | NACHHER | 0   | 0   | 4   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| FAHRRAD               | VORHER  | 11  | 10  | 3   | 10  | 14  | 20  | 3   | 3   | 2   |
|                       | NACHHER | 11  | 10  | 3   | 10  | 14  | 20  | 3   | 3   | 4   |
| ABFERTIGUNGSRATE (S)  | VORHER  | 108 | 108 | 108 | 108 | 108 | 108 | 108 | 108 | 108 |
| ABFERTIGUNGSRATE (S)  | NACHHER | 54  | 54  | 54  | 54  | 54  | 54  | 54  | 54  | 108 |

Abb. 32: Darstellung ausgewählter Ergebnisse der Dimensionierungsrechnung (Linienstruktur)

Diese Darstellung zeigt, daß zunächst ('Vorher') davon ausgegangen wurde, daß je Vertikale 2 Einzelkabinenaufzüge eingesetzt werden. Die Dimensionierungsrechnung ging aus von der in der Planungsaufgabe vorgegebenen Abfertigungsrate von 108 Sekunden ('Vorher'). Hier handelt es sich um die Planungsgröße, die ggf. geändert wird, sofern nur mittels einer solchen Änderung die übrigen Planungsvorgaben erfüllt werden können (vgl. 3.2.1., S. 46).

Im vorliegenden Fall zeigte sich, daß stets (außer bei der kontinuierlich horizontal und vertikal fahrenden Hängebahn) 4 Doppelkabinenaufzüge ('Nachher') ausreichen, die Abfertigungsrate jedoch (etwa durch Einführung eines 2. Tablettierbandes) in den meisten Fällen auf 54 Sekunden herabgesetzt werden mußte.

Sofern die Abfertigungsrate nicht geändert werden soll, bietet es sich an, andere Planungsvorgaben zu verändern und dann erneut eine Dimensionierungsrechnung durchzuführen. In Betracht käme beispielsweise eine Vergrößerung der Speisenverteilzeit ( $T_{\text{offen}}$ ), eine Verkürzung der maximal zulässigen Hin-Transportzeit ( $T_{\text{Hin}}^{\text{max}}$ ), eine Senkung der minimalen Aufenthaltsdauer ( $T_{\text{Auf}}$ ) oder auch eine Kombination solcher Maßnahmen.

Die Anzahl erforderlicher Fahrwerke bewegt sich je nach Alternative zwischen 3 und 20, wobei in einem Fall (beispielsweise aufgrund der Batteriekapazität bei Alternative 9) die zunächst berechnete Fahrwerkszahl im Laufe der Dimensionierungsrechnung korrigiert werden mußte.

Eine detaillierte Übersicht der aus der Dimensionierungsrechnung resultierenden technischen Größen enthält die Abbildung 33. Es ist zu erkennen, daß die niedrigen Fahrwerkszahlen der Alternativen 3 sowie 7 bis 9 durch Einführung von jeweils 20 Weichen ermöglicht wurden. Damit ergeben sich für diese Alternativen zugleich niedrigere maximale Hin-Transportzeiten. Die zeitliche Auslastung liegt bei den Hängebahnsystemen zwischen 44 und 48 [%]. Außerhalb der Maximalbelastung, die der Dimensionierung des Systems zugrundelag, ergeben sich damit Leistungsreserven von (theoretisch) etwa 52 bis 56 [%].

Bei den Flurfördersystemen ist die zeitliche Auslastung je Fahrwerk mit etwa 30 bis 44 [%] ebenfalls sehr niedrig ausgewiesen. Es ist jedoch zu beachten, daß aufgrund der beschränkten Batteriekapazität bei Alternative 8

| ALTERNATIVE                | 1         | 2         | 3         | 4         | 5         | 6         | 7         | 8         | 9         |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| DIMENSIONIERUNGSGROSSE     |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| ANZAHL FAHRWERKE           | 1.100E+01 | 1.000E+01 | 3.000E+00 | 1.000E+01 | 1.400E+01 | 2.000E+01 | 3.000E+00 | 3.000E+00 | 4.000E+00 |
| ANZAHL WAGEN               | 2.200E+02 | 2.200E+02 | 2.200E+02 | 2.200E+02 | 2.200E+02 | 2.200E+02 | 2.200E+02 | 2.200E+02 | 2.200E+02 |
| ANZAHL ZER-WEICHEN         | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| ANZAHL 3ER-WEICHEN         | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 2.000E+01 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 2.000E+01 | 2.000E+01 | 2.000E+01 |
| ZEITL. AUSL./FAHRWERK (s)  | 4.752E+01 | 4.784E+01 | 4.138E+01 | 4.540E+01 | 4.571E+01 | 4.802E+01 | 4.433E+01 | 3.961E+01 | 2.983E+01 |
| GEF. WEG./FAHRWERK (m)     | 1.758E+04 | 1.934E+04 | 1.427E+04 | 1.934E+04 | 1.395E+04 | 1.487E+04 | 1.427E+04 | 1.427E+04 | 1.070E+04 |
| EINZELKABINENAUFZUEGE      | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 4.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| DOPPELKABINENAUFZUEGE      | 4.000E+00 | 4.000E+00 | 2.000E+00 | 4.000E+00 | 4.000E+00 | 0.000E+00 | 4.000E+00 | 4.000E+00 | 4.000E+00 |
| MITTLERE TRANSPORTZEIT (s) | 3.473E+02 | 3.164E+02 | 3.434E+02 | 3.292E+02 | 4.008E+02 | 3.868E+02 | 3.005E+02 | 2.982E+02 | 3.330E+02 |
| MAXIMALE TRANSPORTZEIT (s) | 5.926E+02 | 5.384E+02 | 6.042E+02 | 5.571E+02 | 6.862E+02 | 6.188E+02 | 5.080E+02 | 5.204E+02 | 5.872E+02 |
| EINZELSPIELZEIT (s)        | 5.487E+02 | 5.366E+02 | 5.373E+02 | 5.085E+02 | 7.113E+02 | 5.966E+02 | 4.575E+02 | 4.956E+02 | 4.894E+02 |
| KOMBINIERTE SPIELZEIT (s)  | 5.704E+02 | 5.526E+02 | 5.583E+02 | 5.302E+02 | 7.287E+02 | 6.706E+02 | 4.805E+02 | 5.173E+02 | 5.126E+02 |

Abb. 33: Übersicht über aus der Dimensionierungsrechnung resultierende technische Größen (Linienstruktur)

lediglich maximal ca. 17 [%] und bei Alternative 9 ca. 7 [%] theoretischer Leistungsreserve vorhanden sind.

Eine Übersicht über die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsrechnung bei einem Planungshorizont von 25 Jahren gibt Tabelle 8.

Tab. 8: Übersicht über die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsrechnung  
(Linienstruktur - Planungshorizont 25 Jahre)

| Technologie<br>Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsrechnung | Hängebahnsysteme<br>in Verbindung mit<br>Aufzügen | kontinuierlich<br>horizontal und<br>vertikal fahrende<br>Hängebahn | Flurfördersysteme<br>in Verbindung mit<br>Aufzügen 1) |
|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Investitionsaufwand<br>[Millionen DM]                     | 3,46 - 4,60                                       | 4,1                                                                | 4,0 - 4,7                                             |
| Abschreibungen/Jahr<br>[DM]                               | 224.900 - 269.900                                 | 266.000                                                            | 250.900 - 285.800                                     |
| Zinsen/Jahr [DM]                                          | 224.900 - 269.900                                 | 266.000                                                            | 250.900 - 285.800                                     |
| Instandhaltung/Jahr<br>[DM]                               | 121.030 - 160.860                                 | 145.040                                                            | 142.100 - 164.675                                     |
| Kosten des 1. Betriebsjahres [DM]                         | 570.830 - 700.660                                 | 677.040                                                            | 643.900 - 733.230                                     |
| Investitionsaufwand/<br>Bett [DM]                         | 4.364 - 5.800                                     | 5.229                                                              | 5.123 - 5.936                                         |
| Kosten des 1. Betriebsjahres/Bett<br>[DM]                 | 720,74 - 884,67                                   | 854,85                                                             | 813,00 - 925,80                                       |

1) mit zentraler  
Rechnersteuerung

Im vorliegenden Fall ergibt sich keine eindeutige Präferenz für eine bestimmte Vorzugsvariante, da sich kostenmäßig keine klare Abgrenzung zwischen den einzelnen Technologien zeigt.

Tab. 9: Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsrechnung bei Änderung des Planungshorizontes (auf 20 bzw. 15 Jahre)

| Technologie                                        |                                              | Hängebahnsysteme<br>in Verbindung mit<br>Aufzügen | kontinuierlich<br>horizontal und<br>vertikal fah-<br>rende Hängebahn | Flurfördersysteme<br>in Verbindung mit<br>Aufzügen 1) |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Ergebnisse der<br>Wirtschaftlich-<br>keitsrechnung |                                              |                                                   |                                                                      |                                                       |
| Planungshorizont<br>20 Jahre                       | Abschreibungen/Jahr<br>[DM]                  | 229.800 - 283.300                                 | 278.900                                                              | 261.300 - 300.300                                     |
|                                                    | Zinsen/Jahr [DM]                             | 183.840 - 226.640                                 | 223.120                                                              | 209.040 - 240.240                                     |
|                                                    | Instandhaltung des 1.<br>Betriebsjahres [DM] | 121.030 - 160.860                                 | 145.040                                                              | 142.100 - 164.675                                     |
|                                                    | Kosten des 1. Be-<br>triebsjahres [DM]       | 534.670 - 670.800                                 | 647.060                                                              | 612.440 - 702.170                                     |
|                                                    | Kosten des 1. Be-<br>triebsj./Bett [DM]      | 675,09 - 846,97                                   | 816,99                                                               | 773,28 - 886,58                                       |
| Planungshorizont<br>15 Jahre                       | Abschreibungen/Jahr<br>[DM]                  | 284.900 - 360.700                                 | 330.600                                                              | 325.700 - 360.900                                     |
|                                                    | Zinsen/Jahr [DM]                             | 170.940 - 216.420                                 | 198.360                                                              | 195.420 - 221.940                                     |
|                                                    | Instandhaltung des 1.<br>Betriebsjahres [DM] | 121.030 - 160.860                                 | 145.040                                                              | 142.100 - 164.675                                     |
|                                                    | Kosten des 1. Be-<br>triebsjahres [DM]       | 576.870 - 737.980                                 | 674.000                                                              | 663.220 - 756.515                                     |
|                                                    | Kosten des 1. Be-<br>triebsj./Bett [DM]      | 728,37 - 931,79                                   | 851,01                                                               | 837,40 - 955,20                                       |

1) mit zentraler Rechnersteuerung

Ein Vergleich der Ergebnisse weist nur geringe Schwankungen der jeweils berechneten Kosten aus, wobei von den 3 verglichenen Planungshorizonten derjenige mit 20 Jahren zum günstigsten Ergebnis führt. Dies ist auf die große Zahl von Anlagenteilen zurückzuführen, deren tatsächlich zu erwartende Lebensdauer mit einer ganzen Zahl multipliziert gerade 20 ergibt (vgl. Tabelle 5, S. 75).

Im vorliegenden Beispiel würde die Wettbewerbssituation der Technologie 'Flurfördersysteme in Verbindung mit Aufzügen' gestärkt, wenn die in der Wirtschaftlichkeitsrechnung enthaltene zentrale Rechnersteuerung entfielen.

Andererseits würden bei dieser Technik erhöhte Anforderungen an die geforderte Anzahl von Transporten oder auch nur eine Erhöhung der Spitzenbelastung etwa durch Verkürzung der Speisenverteilzeit aufgrund der nur geringen Leistungsreserven zu einer Erhöhung der Zahl erforderliche Fahrwerke bei Flurfördersystemen führen und aufgrund der in Tabelle 6 (S. 77) angenommenen Relation der Preise für Fahrwerke zu einer ungünstigeren Kostensituation bei den Flurfördersystemen führen.

### 5.2.2. Krankenhausneubau mit flächiger Anordnung der Pflegeeinheiten

Es handelt sich um ein Haus mit folgenden Daten:

- 560 Betten in Pflegeeinheiten zu je 20 Betten
- 2 im Winkel von  $90^\circ$  zueinander angeordnete Bettenhäuser mit jeweils 4 (Bettenhaus 1) bzw. 3 (Bettenhaus 2) Pflegegeschossen zu je 4 Pflegeeinheiten
- Anordnung der Quellen in einem eigenen an der Peripherie der Anlage angeordneten Gebäude für Technik, Ver- und Entsorgung
- Außerdem sind 2 Geschosse im Gebäude 'Untersuchung/Behandlung' an die AWT-Anlage anzuschließen.

Die Lage der Quellen, Pflegeeinheiten und Vertikalen ist in Abbildung 34 dargestellt (sie ähnelt Struktur 31 des Anhangs).

Die Planungsaufgabe wird durch folgende Angaben beschrieben:

|                                                                         |      |           |
|-------------------------------------------------------------------------|------|-----------|
| Betriebszeit gesamt                                                     | 12,0 | [Stunden] |
| Speisenverteilzeit $T_{\text{offen}}$                                   | 2,5  | [Stunden] |
| Minimale Aufenthaltsdauer eines Wagens in der Pflegeeinheit             |      |           |
| $T_{\text{Auf}}$                                                        | 30   | [Minuten] |
| Maximal zulässige Hin-Transportzeit $T_{\text{Hin max}}$ (Tiefkühlkost) | 30   | [Minuten] |

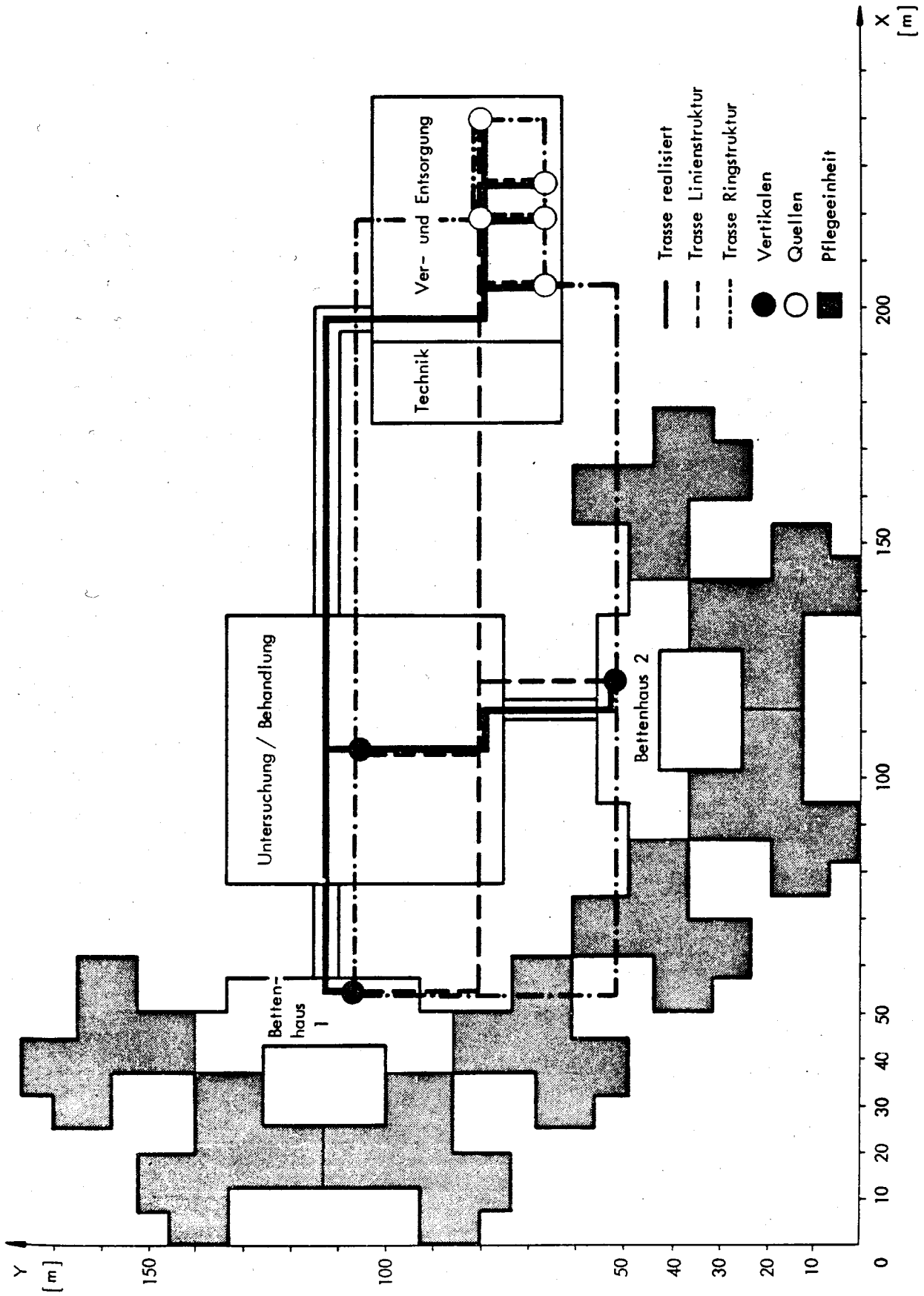


Abb. 34: Layout des Anwendungsbeispiels mit flächiger Anordnung der Pflegeeinheiten



|                                                  |                |
|--------------------------------------------------|----------------|
| Abfertigungsrate $T_{Abf}$                       | 120 [Sekunden] |
| Bedienhäufigkeit der Quelle Küche:               | 3              |
| Bedienhäufigkeit der Quelle Wäscherei:           | 1/2            |
| Bedienhäufigkeit der Quelle Apotheke:            | 1/4            |
| Bedienhäufigkeit der Quelle Müll-<br>entsorgung: | 1              |
| Bedienhäufigkeit der Quelle Sonstiges:           | 1              |
| Sockelmaß SM                                     | 4,5 [m]        |
| Geschoßhöhe GH                                   | 3,0 [m]        |

Eine Übersicht über einige dieser, die Planungsaufgabe charakterisierenden Daten zeigt der Computer-Ausdruck der Abbildung 35.

#### ----- KOORDINATEN DER QUELLEN

| X         | Y         |
|-----------|-----------|
| 2.140E+02 | 6.300E+01 |
| 2.240E+02 | 7.800E+01 |
| 2.240E+02 | 5.800E+01 |
| 2.330E+02 | 5.800E+01 |
| 2.470E+02 | 7.800E+01 |

#### ----- KOORDINATEN DER VERTIKALEN

| X         | Y         | ANZAHL DER EBENEN | ANZAHL DER ANGEBUNDENEN PFLEGE-EINHEITEN |
|-----------|-----------|-------------------|------------------------------------------|
| 5.200E+01 | 1.070E+02 | 4.000E+00         | 4.000E+00                                |
| 1.070E+02 | 5.200E+01 | 3.000E+00         | 4.000E+00                                |
| 9.400E+01 | 1.070E+02 | 2.000E+00         | 2.000E+00                                |

|                                      |           |                       |
|--------------------------------------|-----------|-----------------------|
| BEDIENHÄUFIGKEIT DER KÜCHE           | 3.000E+00 |                       |
| BEDIENHÄUFIGKEIT DER ANDEREN QUELLEN | 6.875E-01 |                       |
| ÖFFNUNGSZEIT DER HAUPTZENTRALE:      | 3.000E+00 | MAL 2.500E+00 STUNDEN |
| ÖFFNUNGSZEIT DER NEBENZENTRALEN:     | 4.500E+00 | STUNDEN               |

Abb. 35: Darstellung ausgewählter Daten der Planungsaufgabe

Die Dimensionierungsrechnung wurde sowohl für eine Ring- als auch eine Linienstruktur durchgeführt. Eine Übersicht über wesentliche Ergebnisse dieser Rechnung für die 9 in 5.1. beschriebenen Alternativen der untersuchten Technologien enthalten die Ausdrücke in Abbildung 36. Der Trassenverlauf für Ring- bzw. Linienstruktur ist - ebenso wie die für dieses Vorhaben realisierte Trasse - in Abbildung 34 enthalten.

| RESTRIKTIONEN HABEN ZU FOLGENDEN VERÄNDERUNGEN GEFÜHRT |         |     |     |     |     |     |     |     |     | RINGSTRUKTUR   |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--------------------------------------------------------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------------|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|                                                        |         | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9              |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| DOPPELKABINENAUFZUEGE                                  | VORHER  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0              |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                        | NACHHER | 3   | 3   | 2   | 3   | 3   | 0   | 3   | 3   | 3              |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| EINZELKABINENAUFZUEGE                                  | VORHER  | 6   | 6   | 6   | 6   | 6   | 0   | 6   | 6   | 6              |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                        | NACHHER | 0   | 0   | 4   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0              |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| FAHRWERKE                                              | VORHER  | 9   | 10  | 10  | 8   | 14  | 13  | 8   | 9   | 4              |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                        | NACHHER | 9   | 10  | 10  | 8   | 14  | 13  | 8   | 9   | 11             |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ABFERTIGUNGSRATE (S)                                   |         | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120            |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ABFERTIGUNGSRATE (S)                                   |         |     |     |     |     |     |     |     |     |                |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| NACHHER                                                |         | 60  | 60  | 60  | 60  | 60  | 60  | 60  | 60  | 60             | 120 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                        |         |     |     |     |     |     |     |     |     | LINIENSTRUKTUR |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                        |         | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9              |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| DOPPELKABINENAUFZUEGE                                  | VORHER  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0              |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                        | NACHHER | 3   | 3   | 2   | 3   | 3   | 0   | 3   | 3   | 3              |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| EINZELKABINENAUFZUEGE                                  | VORHER  | 6   | 6   | 6   | 6   | 6   | 0   | 6   | 6   | 6              |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                        | NACHHER | 0   | 0   | 4   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0              |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| FAHRWERKE                                              | VORHER  | 12  | 13  | 13  | 12  | 18  | 16  | 6   | 6   | 3              |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                        | NACHHER | 12  | 13  | 13  | 12  | 18  | 16  | 6   | 6   | 9              |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ABFERTIGUNGSRATE (S)                                   |         | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120            |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ABFERTIGUNGSRATE (S)                                   |         |     |     |     |     |     |     |     |     |                |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| NACHHER                                                |         | 60  | 60  | 60  | 60  | 60  | 60  | 60  | 60  | 60             | 120 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Abb. 36: Darstellung ausgewählter Ergebnisse der Dimensionierungsrechnung für Ring- und Linienstruktur

Abbildung 36 zeigt, daß in beiden Fällen die Dimensionierung der Aufzüge zu gleichen Ergebnissen führte. Die Planungsaufgabe konnte (außer bei Alternative 9) nur durch Herabsetzung der Abfertigungsrate (etwa durch Einführung eines 2. Tablettierbandes) erfüllt werden. Andere Lösungswege zur Erfüllung der Planungsaufgabe wurden in 5.2.1. genannt.

Die Anzahl erforderliche Fahrwerke weist für die Linienstruktur ähnlich wie bei 5.2.1. ein für Flurfördersysteme günstiges Resultat aus. Die Ringstruktur, die entsprechend ihrer Definition keine Weichen zuläßt, reduziert (aufgrund einer insgesamt kürzeren Trassenlänge) die Anzahl notwen-

diger Fahrwerke bei Hängebahnsystemen und erhöht sie bei Flurfördersystemen (da keine Weichen zugelassen werden).

Detaillierte Übersichten der aus den Dimensionierungsrechnungen resultierenden technischen Größen enthalten die Abbildungen 37 und 38.

Während die Hängebahnsysteme in beiden Fällen über hohe Leistungsreserven der Fahrwerke außerhalb der Spitzenzeiten von theoretisch mehr als 50 % verfügen, ergeben sich für Flurfördersysteme bei Alternative 7 jeweils etwa 37 % theoretische Reserve, für Alternative 8 bei der Linienstruktur 2 und bei der Ringstruktur etwa 14 % sowie bei Alternative 9 für die Linienstruktur 9 % theoretische Reserve und bei der Ringstruktur keine Leistungsreserve. Hier wäre daher ggf. in der praktischen Anwendung mit höheren Fahrwerkszahlen zu rechnen.

Eine Übersicht über die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsrechnung bei einem Planungshorizont von 25 Jahren gibt Tabelle 10.

Sowohl bei der Ring- als auch bei der Linienstruktur wäre aufgrund des vorstehenden Kostenvergleichs ein Hängebahnsystem in Verbindung mit Aufzügen als Vorzugsvariante gewählt worden.

Da ein Wegfall der zentralen Rechnersteuerung zu einer günstigeren Situation der Technologie 'Flurfördersysteme in Verbindung mit Aufzügen' führen würde, zeigt dieses Beispiel, daß in vielen Fällen an die Berechnung der Wirtschaftlichkeit eine Kosten-Nutzen-Betrachtung anzuschließen ist, um anhand der Einbeziehung auch qualitativer Merkmale in den Variantenvergleich zur Bestimmung der Vorzugsvariante zu gelangen, sofern das auf der Basis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung allein nicht möglich ist.

Bei Berücksichtigung nur der im Vergleich ausgewiesenen Kosten wäre zudem eine Ringstruktur am günstigsten gewesen.

Die tatsächlich realisierte Trasse (vgl. Abbildung 34) stellt eine Linienstruktur dar. Die Trassenlänge entspricht insgesamt in etwa der berechneten Länge. Hinsichtlich des Bettenhauses 2 ergeben sich bei Ausführung des Vorschlags gegenüber der durchgeführten Dimensionierungsrechnung längere Wege und damit eventuell höhere Fahrwerkszahlen für Flurfördersysteme.

| ALTERNATIVE                | 1         | 2         | 3         | 4         | 5         | 6         | 7         | 8         | 9         |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| DIMENSIONIERUNGSGROSSE     |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| ANZAHL FAHRWERKE           | 9.000E+00 | 1.000E+01 | 1.000E+01 | 0.000E+00 | 1.400E+01 | 1.300E+01 | 0.000E+00 | 9.000E+00 | 1.100E+01 |
| ANZAHL WAGEN               | 1.600E+02 | 1.600E+02 | 1.600E+02 | 1.600E+02 | 1.600E+02 | 1.600E+02 | 1.600E+02 | 1.600E+02 | 1.600E+02 |
| ZEITL. AUSL./FAHRVERK (2)  | 4.250E+01 | 4.430E+01 | 4.401E+01 | 4.623E+01 | 4.443E+01 | 4.714E+01 | 4.101E+01 | 4.302E+01 | 3.319E+01 |
| GEF. WEG./FAHRVERK (M)     | 2.026E+04 | 1.824E+04 | 1.839E+04 | 2.280E+04 | 1.324E+04 | 1.640E+04 | 2.261E+04 | 2.026E+04 | 1.658E+04 |
| EINZELKABINENAUFZUEGE      | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 4.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| DOPPELKABINENAUFZUEGE      | 3.000E+00 | 3.000E+00 | 2.000E+00 | 3.000E+00 | 3.000E+00 | 0.000E+00 | 3.000E+00 | 3.000E+00 | 3.000E+00 |
| MITTLERE TRANSPORTZEIT (S) | 3.764E+02 | 4.172E+02 | 4.347E+02 | 3.656E+02 | 5.572E+02 | 4.611E+02 | 3.266E+02 | 3.621E+02 | 3.696E+02 |
| MAXIMALE TRANSPORTZEIT (S) | 4.595E+02 | 5.077E+02 | 5.593E+02 | 4.460E+02 | 6.768E+02 | 5.410E+02 | 3.971E+02 | 4.511E+02 | 4.807E+02 |
| EINZELSPIELZEIT (S)        | 4.873E+02 | 5.652E+02 | 5.668E+02 | 4.711E+02 | 7.816E+02 | 6.220E+02 | 4.208E+02 | 4.933E+02 | 4.649E+02 |
| KOMBINIERTE SPIELZEIT (S)  | 5.090E+02 | 5.812E+02 | 5.878E+02 | 4.928E+02 | 7.990E+02 | 6.960E+02 | 4.438E+02 | 5.150E+02 | 4.881E+02 |

Abb. 37: Übersicht über aus der Dimensionierungsrechnung resultierende technische Größen (Ringstruktur)

| ALTERNATIVE                | 1         | 2         | 3         | 4         | 5         | 6         | 7         | 8         | 9         |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| DIMENSIONIERUNGSGROSSE     |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| ANZAHL FAHRWERKE           | 1.200E+01 | 1.300E+01 | 1.300E+01 | 1.200E+01 | 1.600E+01 | 1.600E+01 | 6.000E+00 | 6.000E+00 | 9.000E+00 |
| ANZAHL WAGEN               | 1.600E+02 | 1.600E+02 | 1.600E+02 | 1.600E+02 | 1.600E+02 | 1.600E+02 | 1.600E+02 | 1.600E+02 | 1.600E+02 |
| ANZAHL ZER-WEICHEN         | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| ANZAHL ZER-WEICHEN         | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 2.100E+01 | 2.100E+01 | 2.100E+01 |
| ZEITL. AUSL./FAHRWERK(t)   | 4.661E+01 | 4.623E+01 | 4.670E+01 | 4.380E+01 | 4.617E+01 | 4.829E+01 | 4.413E+01 | 4.661E+01 | 3.031E+01 |
| GEF. WEG./FAHRWERK (m)     | 2.024E+04 | 1.868E+04 | 1.883E+04 | 2.037E+04 | 1.371E+04 | 1.705E+04 | 2.256E+04 | 2.256E+04 | 1.504E+04 |
| EINZELKABINENAUFZUEGE      | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 4.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| DOPPELKABINENAUFZUEGE      | 3.000E+00 | 3.000E+00 | 2.000E+00 | 3.000E+00 | 3.000E+00 | 0.000E+00 | 3.000E+00 | 3.000E+00 | 3.000E+00 |
| MITTLERE TRANSPORTZEIT (s) | 2.857E+02 | 3.056E+02 | 3.306E+02 | 2.801E+02 | 4.073E+02 | 3.563E+02 | 2.513E+02 | 2.694E+02 | 2.888E+02 |
| MAXIMALE TRANSPORTZEIT (s) | 4.272E+02 | 4.456E+02 | 5.073E+02 | 4.137E+02 | 5.932E+02 | 4.842E+02 | 3.711E+02 | 4.074E+02 | 4.521E+02 |
| EINZELSPIELZEIT (s)        | 7.024E+02 | 7.553E+02 | 7.566E+02 | 6.651E+02 | 1.028E+03 | 8.160E+02 | 5.954E+02 | 6.742E+02 | 6.474E+02 |
| KOMBINIERTE SPIELZEIT (s)  | 7.241E+02 | 7.713E+02 | 7.776E+02 | 6.868E+02 | 1.046E+03 | 8.900E+02 | 6.184E+02 | 6.950E+02 | 6.706E+02 |

Abb. 38: Übersicht über aus der Dimensionierungsrechnung resultierende technische Größen (Linienstruktur)

**Tab. 10:** Übersicht über die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsrechnung  
(Planungshorizont 25 Jahre)

| Technologie<br><br>Ergebnisse<br>der Wirtschaft-<br>lichkeitsrechnung |                                            | Hängebahnsysteme<br>in Verbindung mit<br>Aufzügen | kontinuierlich<br>horizontal und<br>vertikal fah-<br>rende Hänge-<br>bahn | Flurfördersysteme<br>in Verbindung mit<br>Aufzügen 1) |
|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Linienstruktur                                                        | Investitionsbedarf<br>[Millionen DM]       | 1,93 - 2,65                                       | 2,76                                                                      | 2,82 - 3,37                                           |
|                                                                       | Abschreibungen/Jahr<br>[DM]                | 142.800 - 170.600                                 | 185.000                                                                   | 188.100 - 234.400                                     |
|                                                                       | Zinsen/Jahr [DM]                           | 142.800 - 170.600                                 | 185.000                                                                   | 188.100 - 234.400                                     |
|                                                                       | Instandhaltung im 1.<br>Betriebsjahr [DM]  | 67.690 - 92.750                                   | 96.670                                                                    | 98.840 - 118.265                                      |
|                                                                       | Kosten des 1. Be-<br>triebsjahrs [DM]      | 353.290 - 433.950                                 | 466.670                                                                   | 475.040 - 587.065                                     |
|                                                                       | Investitionsauf-<br>wand/Bett [DM]         | 3.454 - 4.732                                     | 4.932                                                                     | 5.043 - 6.034                                         |
|                                                                       | Kosten des 1. Be-<br>triebsjahrs/Bett [DM] | 630,88 - 774,91                                   | 833,34                                                                    | 848,29 - 1.048,33                                     |
| Ringstruktur                                                          | Investitionsbedarf<br>[Millionen DM]       | 1,82 - 2,46                                       | 2,52                                                                      | 2,90 - 3,47                                           |
|                                                                       | Abschreibungen/Jahr<br>[DM]                | 136.400 - 161.300                                 | 171.900                                                                   | 198.200 - 249.700                                     |
|                                                                       | Zinsen/Jahr [DM]                           | 136.400 - 161.300                                 | 171.900                                                                   | 198.200 - 249.700                                     |
|                                                                       | Instandhaltung im 1.<br>Betriebsjahr [DM]  | 63.665 - 86.065                                   | 88.060                                                                    | 101.395 - 121.345                                     |
|                                                                       | Kosten des 1. Be-<br>triebsjahrs [DM]      | 336.465 - 408.665                                 | 431.860                                                                   | 497.795 - 620.745                                     |
|                                                                       | Investitionsauf-<br>wand/Bett [DM]         | 3.248 - 4.391                                     | 4.493                                                                     | 5.173 - 6.191                                         |
|                                                                       | Kosten des 1. Be-<br>triebsjahrs/Bett [DM] | 600,83 - 686,52                                   | 771,19                                                                    | 888,92 - 1.108,47                                     |

1) mit zentraler Rechnersteuerung

### 5.2.3. Erweiterung eines Altbaues durch ein Bettenhaus sowie Neugestaltung des Ver- und Entsorgungsbereichs

Es handelt sich um das in Abbildung 39 dargestellte Haus mit folgenden Daten:

- Altbau (rechts in Abbildung 39) mit 2 Pflegeeinheiten zu 19 und 1 Pflegeeinheit zu 29 Betten je Pflegegeschoß
- Neubau eines Bettenhauses (links in Abbildung 39) mit 5 Pflegeeinheiten zu je 18 Betten je Pflegegeschoß
- Zusätzlich im Erdgeschoß angeordneten Pflegeeinheiten, so daß sich insgesamt 520 Betten in 24 Pflegeeinheiten ergeben
- Anordnung der Quellen im Untergeschoß des neu erbauten Bettenhauses bzw. dessen Breitfußgeschosses (vgl. Abb. 39)

Die Planungsaufgabe wird durch folgende Angaben beschrieben:

|                                                                              |                |
|------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Betriebszeit gesamt                                                          | 11,5 [Stunden] |
| Speisenverteilzeit $T_{\text{offen}}$                                        | 2,5 [Stunden]  |
| Minimale Aufenthaltsdauer eines Wagens in der Pflegeeinheit $T_{\text{Auf}}$ | 30 [Minuten]   |
| Maximal zulässige Hin-Transportzeit $T_{\text{Hin max}}$                     | 15 [Minuten]   |
| Mittlere Abfertigungsrate $T_{\text{Abf}}$                                   | 118 [Sekunden] |
| Bedienhäufigkeit der Quelle Küche:                                           | 3              |
| Bedienhäufigkeit der Quelle Fertigvorrat/Sterilisation:                      | 1              |
| Bedienhäufigkeit der Quelle Wäscherei:                                       | 1              |
| Bedienhäufigkeit der Quelle Apotheke:                                        | 1/2            |
| Bedienhäufigkeit der Quelle Müllentsorgung:                                  | 1              |
| Sockelmaß SM                                                                 | 8,15 [m]       |
| Geschoßhöhe GH                                                               | 3,6 [m]        |

Eine Übersicht über einige dieser, die Planungsaufgabe charakterisierenden Daten zeigt der Computer-Ausdruck (vgl. Abbildung 40).

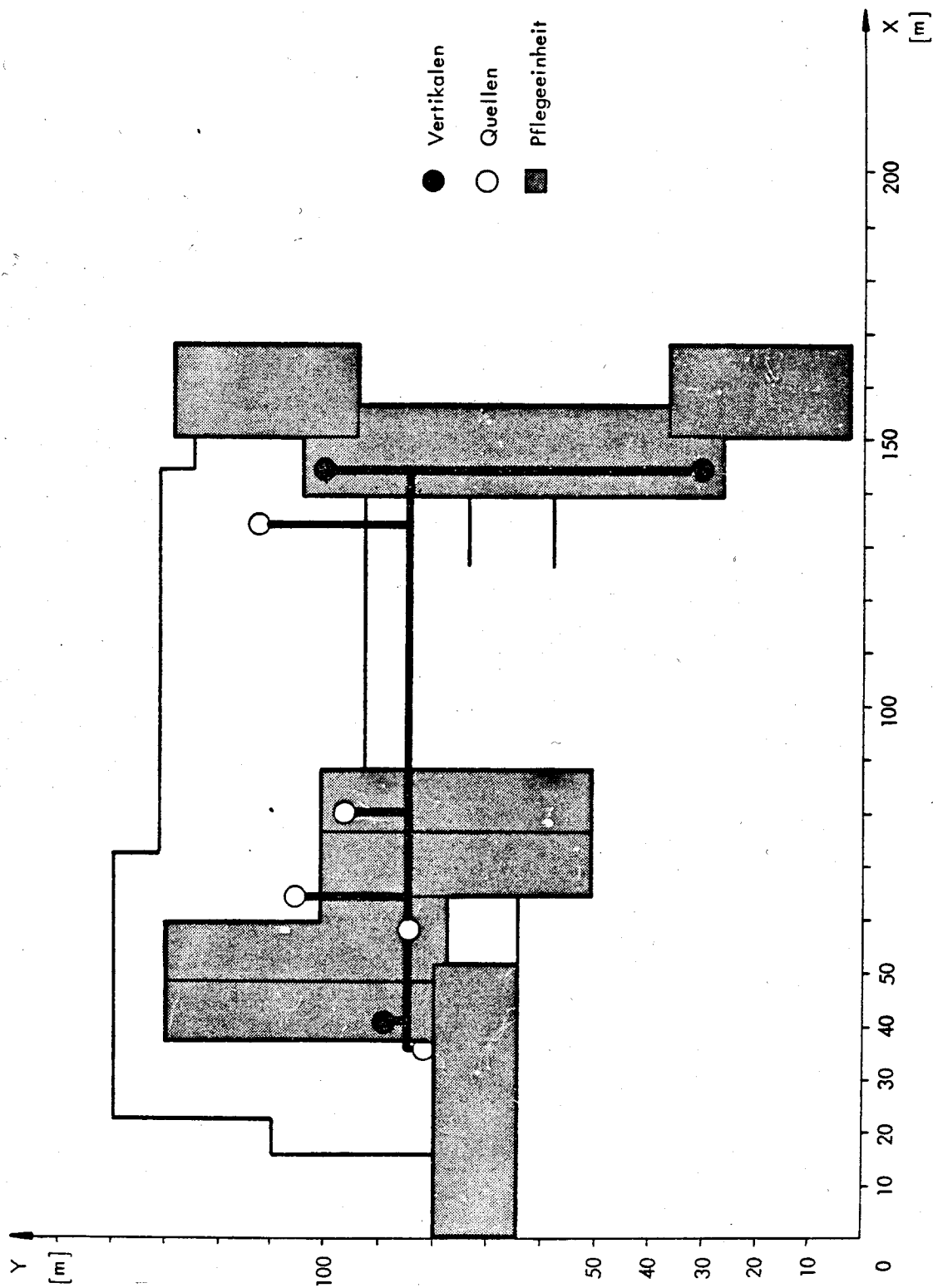


Abb. 39: Layout des Anwendungsbeispiels Erweiterung eines Altbau



# ----- KOORDINATEN DER QUELLEN -----

# ----- LINIENSTRUKTUR -----

| X         | Y         |
|-----------|-----------|
| 3.500E+01 | 8.000E+01 |
| 5.600E+01 | 8.572E+01 |
| 6.500E+01 | 1.060E+02 |
| 7.800E+01 | 9.700E+01 |
| 1.350E+02 | 1.150E+02 |

# ----- KOORDINATEN DER VERTIKALEN -----

| X         | Y         | ANZAHL DER EBENEN | ANZAHL DER ANGEBOUNDENEN PFLEGEEINHEITEN |
|-----------|-----------|-------------------|------------------------------------------|
| 4.000E+01 | 9.000E+01 | 3.000E+00         | 5.000E+00                                |
| 1.450E+02 | 3.000E+01 | 3.000E+00         | 1.000E+00                                |
| 1.450E+02 | 1.000E+02 | 3.000E+00         | 2.000E+00                                |

|                                       |           |                       |
|---------------------------------------|-----------|-----------------------|
| BEDIENHAUEFIGKEIT DER KUECHE          | 3.000E+00 |                       |
| BEDIENHAUEFIGKEIT DER ANDEREN QUELLEN | 8.750E-01 |                       |
| OFFNUNGSZEIT DER HAUPTZENTRALE        | 3.000E+00 | MAL 2.500E+00 STUNDEN |
| OFFNUNGSZEIT DER NEBENZENTRALEN       | 4.000E+00 | STUNDEN               |

Abb. 40: Darstellung ausgewählter Daten der Planungsaufgabe

Eine Zusammenfassung wesentlicher Ergebnisse der Dimensionierungsrechnung für die 9 in 5.1. beschriebenen Alternativen der untersuchten Technologien auf der Basis einer Linienstruktur (wie sie in Abbildung 38 dargestellt ist) enthält Abbildung 40.

# ----- RESTRIKTIONEN NACH ZU FOLGENDEN VERÄNDERUNGEN GEFÜHRT -----

|                       |         | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
|-----------------------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| DOPPELKABINENAUFZUEGE | VORHER  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
|                       | NACHHER | 3   | 3   | 3   | 3   | 3   | 0   | 3   | 3   | 3   |
| EINZELKABINENAUFZUEGE | VORHER  | 6   | 6   | 6   | 6   | 6   | 0   | 6   | 6   | 6   |
|                       | NACHHER | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| FAHRWERKE             | VORHER  | 5   | 5   | 5   | 5   | 7   | 7   | 2   | 2   | 2   |
|                       | NACHHER | 5   | 5   | 5   | 5   | 7   | 7   | 2   | 2   | 3   |
| ABFERTIGUNGSRATE (S)  | VORHER  | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 |
| ABFERTIGUNGSRATE (S)  | NACHHER | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 |

Abb. 41: Darstellung ausgewählter Ergebnisse der Dimensionierungsrechnung (Linienstruktur)

Im vorliegenden Fall konnte die Planungsaufgabe ohne Veränderung der mittleren Abfertigungsrate gelöst werden. An den Vertikalen wird jeweils ein Doppelkabinenaufzug vorgesehen. Die Alternativen auf der Basis von Flurfördersystemen haben (aufgrund der Einführung von Weichen - vgl. Abb. 42) deutlich niedrigere erforderliche Fahrwerkszahlen als andere Technologien.

Die detaillierte Übersicht der aus der Dimensionierungsrechnung resultierenden Größen zeigt bei den Hängebahnsystemen Leistungsreserven außerhalb der Spitzenzeiten zwischen etwa 14 und 28 %, bei Flurfördersystemen von fast 46 % bei Alternative 7 und lediglich ca. 4 bis 5 % bei den Alternativen 8 und 9. Hier müßten bei einer eventuellen Realisation aus Sicherheitsgründen zusätzliche Fahrwerke vorgesehen werden.

Eine Übersicht über die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsrechnung bei einem Planungshorizont von 25 Jahren gibt Tabelle 11.

**Tab. 11:** Übersicht über die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsrechnung (Planungshorizont 25 Jahre)

| Technologie<br>Ergebnisse<br>der Wirtschaft-<br>lichkeitsrechnung | Hängebahnsysteme<br>in Verbindung mit<br>Aufzügen | kontinuierlich<br>horizontal und<br>vertikal fah-<br>rende Hänge-<br>bahn | Flurfördersysteme<br>in Verbindung<br>mit Aufzügen 1) |
|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Investitionsbedarf<br>[Millionen DM]                              | 1,77 - 2,40                                       | 2,30                                                                      | 2,56 - 2,96                                           |
| Abschreibungen/Jahr<br>[DM]                                       | 117.800 - 143.700                                 | 142.600                                                                   | 152.100 - 174.500                                     |
| Zinsen/Jahr [DM]                                                  | 117.800 - 143.700                                 | 142.600                                                                   | 152.100 - 174.500                                     |
| Instandhaltung im 1.<br>Betriebsjahr [DM]                         | 62.020 - 84.070                                   | 80.640                                                                    | 89.425 - 103.460                                      |
| Kosten des 1. Be-<br>triebsjahrs [DM]                             | 297.620 - 371.470                                 | 365.840                                                                   | 393.625 - 450.535                                     |
| Investitionsauf-<br>wand/Bett [DM]                                | 3.408 - 4.619                                     | 4.431                                                                     | 4.913 - 5.685                                         |
| Kosten des 1. Be-<br>triebsjahrs/Bett [DM]                        | 572,35 - 714,37                                   | 703,54                                                                    | 756,97 - 866,41                                       |

1) mit zentraler Rechnersteuerung

Im vorliegenden Fall würde die Wahl einer Vorzugsvariante zu einem Hängebahnsystem führen. Bei Wegfall der in der Wirtschaftlichkeitsrechnung für Flurfördersysteme berücksichtigten zentralen Rechnersteuerung ergeben sich für alle Technologien gleiche Chancen aus der Sicht der Wirtschaftlichkeit. Die Vorzugsvariante muß dann anhand weiterer Auswahlkriterien bestimmt werden.

| ALTERNATIVE                | 1         | 2         | 3         | 4         | 5         | 6         | 7         | 8         | 9         |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| DIMENSIONIERUNGSGROSSE     |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| ANZAHL FAHRWERKE           | 5.000E+00 | 5.000E+00 | 5.000E+00 | 5.000E+00 | 7.000E+00 | 7.000E+00 | 2.000E+00 | 2.000E+00 | 3.000E+00 |
| ANZAHL WAGEN               | 1.200E+02 | 1.200E+02 | 1.200E+02 | 1.200E+02 | 1.200E+02 | 1.200E+02 | 1.200E+02 | 1.200E+02 | 1.200E+02 |
| ANZAHL ZER-WEICHEN         | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| ANZAHL 3ER-WEICHEN         | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 2.000E+01 | 2.000E+01 | 2.000E+01 |
| ZEITL. AUSL/FAHRWERK (s)   | 7.697E+01 | 7.852E+01 | 8.048E+01 | 7.201E+01 | 7.696E+01 | 4.682E+01 | 5.402E+01 | 5.003E+01 | 3.288E+01 |
| GEG. WEG/FAHRWERK (m)      | 2.993E+04 | 2.993E+04 | 3.059E+04 | 2.993E+04 | 2.184E+04 | 2.738E+04 | 1.761E+04 | 1.761E+04 | 1.174E+04 |
| EINZELKABINENAUFZUEGE      | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| DOPPELKABINENAUFZUEGE      | 3.000E+00 | 3.000E+00 | 3.000E+00 | 3.000E+00 | 3.000E+00 | 3.000E+00 | 3.000E+00 | 3.000E+00 | 3.000E+00 |
| MITTLERE TRANSPORTZEIT (s) | 2.713E+02 | 2.254E+02 | 2.533E+02 | 2.544E+02 | 2.782E+02 | 2.839E+02 | 2.321E+02 | 2.189E+02 | 2.597E+02 |
| MAXIMALE TRANSPORTZEIT (s) | 5.531E+02 | 4.826E+02 | 5.504E+02 | 5.160E+02 | 6.151E+02 | 5.375E+02 | 4.688E+02 | 4.730E+02 | 5.463E+02 |
| EINZELSPIELZEIT (s)        | 5.319E+02 | 5.429E+02 | 5.449E+02 | 4.976E+02 | 7.297E+02 | 6.042E+02 | 4.459E+02 | 4.937E+02 | 4.813E+02 |
| KOMBINIERTE SPIELZEIT (s)  | 5.536E+02 | 5.589E+02 | 5.659E+02 | 5.193E+02 | 7.471E+02 | 6.782E+02 | 4.689E+02 | 5.154E+02 | 5.045E+02 |

Abb. 42: Übersicht über aus der Dimensionierungsrechnung resultierende technische Größen (Linienstruktur)

### 5.3. Wechselwirkungen zwischen Planungsaufgabe und -ergebnis

Die Planungsaufgabe besteht jeweils aus der Beschreibung der baulichen Struktur des Krankenhauses sowie den Vorgaben der Betriebsorganisation. Für beide Teile der Planungsaufgabe existieren alle nur denkbaren Möglichkeiten ihrer realen Ausgestaltung.

Anhand des Vergleichs der Ergebnisse weiterer Planungsrechnungen sollen exemplarisch Einflüsse auf die Systemwahl gezeigt werden, die sich aus der Aufgabenstellung selbst ergeben. Prinzipiell lassen sich dabei alle Parameter verändern. Für die im folgenden dargestellten Auswirkungen wurde von jeweils 3 zu variierenden Parametern für den baulichen und den organisatorischen Teil der Planungsaufgabe ausgegangen:

- baulich

1. Variation der horizontalen Gebäudestrukturen  
(vgl. Darstellungen des Anhangs)
2. Variation der horizontalen Trassenführung des AWT-Systems  
(Ring- bzw. Linienstruktur - vgl. 5.3.1., S. 107 ff.)
3. Variation der vertikalen Trassenführung des AWT-Systems durch  
Veränderung der Anzahl der Pflegegeschosse  $N_{\text{pfE}}$  (vgl. 5.3.2., S. 110 ff.)

- organisatorisch

1. Variation der maximal zulässigen Hin-Transportzeiten  $T_{\text{Hin}_{\text{max}}}$   
(vgl. 5.3.3., S. 115)
2. Variation der zulässigen Speisenverteilzeit  $T_{\text{offen}}$  (vgl. 5.3.4., S. 115 ff.)
3. Variation der Größe der Pflegeeinheit  $n_{\text{pfE}}$  (vgl. 5.3.5., S. 119 ff.)

Dabei wird die Planungsaufgabe durch das unter 5.1. beschriebene Planungsmodell unter Beachtung von Ausgangsdaten gelöst, die nach Untersuchungen realisierter Anlagen als günstige Werte für das zu dimensionierende System angesehen werden können. Hierbei wurde vorausgesetzt, daß die gewählte Bettenzahl je Pflegeeinheit gerade noch mit jeweils einem Wagen ver- bzw. entsorgt werden kann.

|                                                                                 |     |              |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----|--------------|
| Betriebszeit gesamt                                                             | 16  | [Stunden]    |
| Speisenverteilzeit $T_{\text{offen}}$                                           | 2,5 | [Stunden]    |
| Minimale Aufenthaltsdauer eines Wagens<br>in der Pflegeeinheit $T_{\text{Auf}}$ | 30  | [Minuten]    |
| Maximal zulässige Hin-Transportzeit<br>$T_{\text{Hin max}}$                     | 25  | [Minuten]    |
| Abfertigungsrate $T_{\text{Abf}}$                                               | 192 | [Sekunden]   |
| Größe der Pflegeeinheit $n_{\text{pFE}}$                                        | 32  | [Planbetten] |
| Bedienhäufigkeit der Quelle Küche:                                              | 4   |              |
| Bedienhäufigkeit der Quelle Wäscherei:                                          | 1   |              |
| Bedienhäufigkeit der Quelle Müllent-<br>sorgung:                                | 1/2 |              |
| Bedienhäufigkeit einer weiteren Quelle:                                         | 1/3 |              |
| Bedienhäufigkeit einer weiteren Quelle:                                         | 1/5 |              |
| Sockelmäß SM                                                                    | 3   | [m]          |
| Geschoßhöhe GH                                                                  | 3,5 | [m]          |

Die vorstehenden Werte sind Bestandteile der jeweils gelösten Planungsaufgabe, sofern nicht (etwa im Rahmen der Parametervariation) ausdrücklich auf Abweichungen hingewiesen wird.

Bei der Ermittlung der Maße für die im Anhang (vgl. 8.) dargestellten Horizontalstrukturen wurde ein Längen-Breiten-Verhältnis der Pflegeeinheit von ca. 50 x 20 m (in Anlehnung an /76/) zugrundegelegt. Dabei wurde angenommen, daß sich die Quellen jeweils im Untergeschoß zentralisiert an der Peripherie des Krankenhauses befinden.

Anhand von 170 berechneten Planungsfällen konnte gezeigt werden, daß (unabhängig von den alternativ angenommenen Planungshorizonten von 15, 20 oder 25 Jahren) ein eindeutiger funktionaler Zusammenhang zwischen Investitionsaufwendungen und Kosten besteht (Korrelationskoeffizienten zwischen 0,96 und 1,0).

Wegen der besseren Einprägsamkeit und auch aufgrund der verbreiteten Diskussion dieser Werte wird daher im folgenden von den Investitionsaufwendungen/Bett als Maßstab für die Wirtschaftlichkeit ausgegangen (vgl. auch Angaben bei 1.2, S. 9).

### 5.3.1. Vergleich von Ring- und Linienstrukturen

Die Berechnung von Ring- bzw. Linienstrukturen für 39 baulich unterschiedliche und von den Betriebsanforderungen her identische Planungsaufgaben ergab, daß das horizontale Wegenetz in Linienstrukturen stets umfangreicher ist. Es schwankte bei den Ringstrukturen zwischen 260 und 1100 [m], bei den entsprechenden Linienstrukturen zwischen 338 und 1975 [m]. Entsprechend steigen Investitionsaufwand und Kosten. Da Wegezeitverkürzungen in Ringstrukturen durch Weichen (lt. Definition der Ringstruktur) nicht möglich sind, kommt dem gewählten Umlaufsinn Bedeutung zu. Da eine maximale Hin-Transportzeit von 25 Minuten zugelassen war, spielten Weichen (außer bei Flurfördersystemen) keine ausschlaggebende Rolle. Wegen des größeren horizontalen Wegenetzes ergeben sich Verschiebungen zu etwas höheren Zeiten gegenüber der Ringstruktur mit gleichem Umlaufsinn. Umgekehrt wären bei 'falsch gewähltem' Umlaufsinn und Zeitrestriktionen einzelne Ringstrukturen zu Unrecht als nicht den Anforderungen genügend ausgeschieden worden. Bei den verglichenen Modellen schwankt die Zahl der Pflegegeschosse und der Vertikalen jeweils zwischen 1 und 8. Dabei ergeben sich Bettenzahlen je Modell von 256 bis 1248. Es zeigte sich, daß für Linienstrukturen i.d.R. höhere Investitionsaufwendungen erforderlich sind als für Ringstrukturen (vgl. Abbildung 43).

Dabei wurden jeweils die Mittelwerte der Ergebnisse der Modellrechnungen aller Alternativen berücksichtigt.

Die Investitionsaufwendungen je Planbett schwanken dabei bei den Ringstrukturen zwischen DM 1.412 und 6.439, bei den Linienstrukturen zwischen DM 1.887 und 10.218. Eine deutliche Degression der Aufwendungen je Bett mit steigender Bettenzahl konnte nicht festgestellt werden. Eine entsprechende Rechnung ergab lediglich eine sehr schwache (nicht signifikante) negative Korrelation.

Die Verteilung der Investitionsaufwendungen für die einzelnen Technologien ergab bei Linien- und Ringstrukturen für die untersuchten 38 Modellfälle spezifische Unterschiede (vgl. Abbildungen 44 und 45).

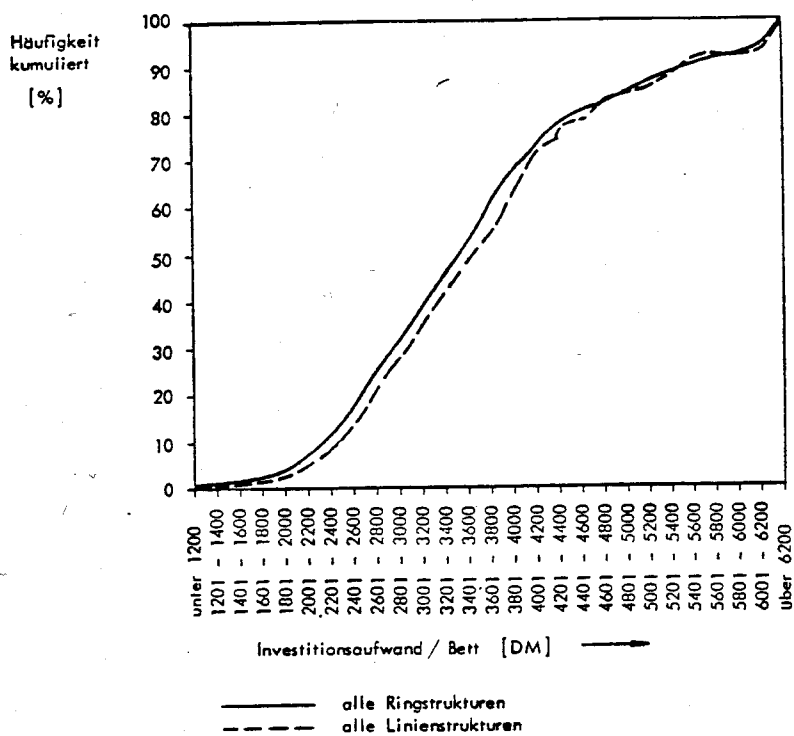


Abb. 43: Vergleich der Investitionsaufwendungen/Bett bei Ring- und Liniensystemen (normiert)

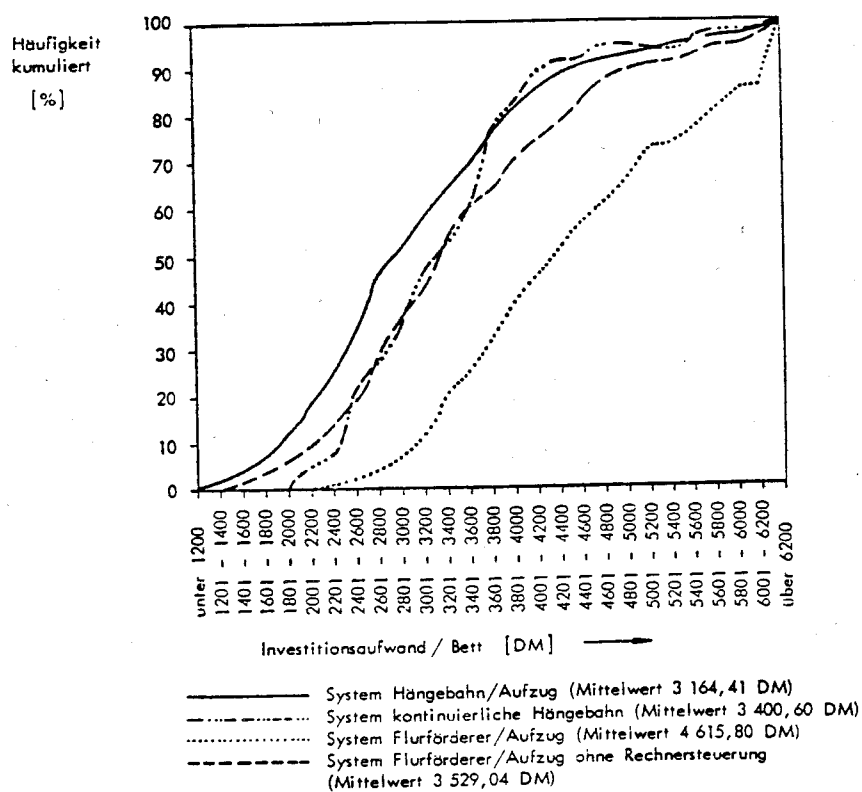


Abb. 44: Verteilung der Investitionsaufwendungen/Bett für unterschiedliche Technologien bei Ringstrukturen (normiert)

Zur besseren Vergleichbarkeit der Technologien wurden deren Investitionsaufwendungen jeweils normiert, indem bei mehreren für eine Technologie berechneten Alternativen nur der jeweilige Mittelwert der Ergebnisse gewertet wurde.

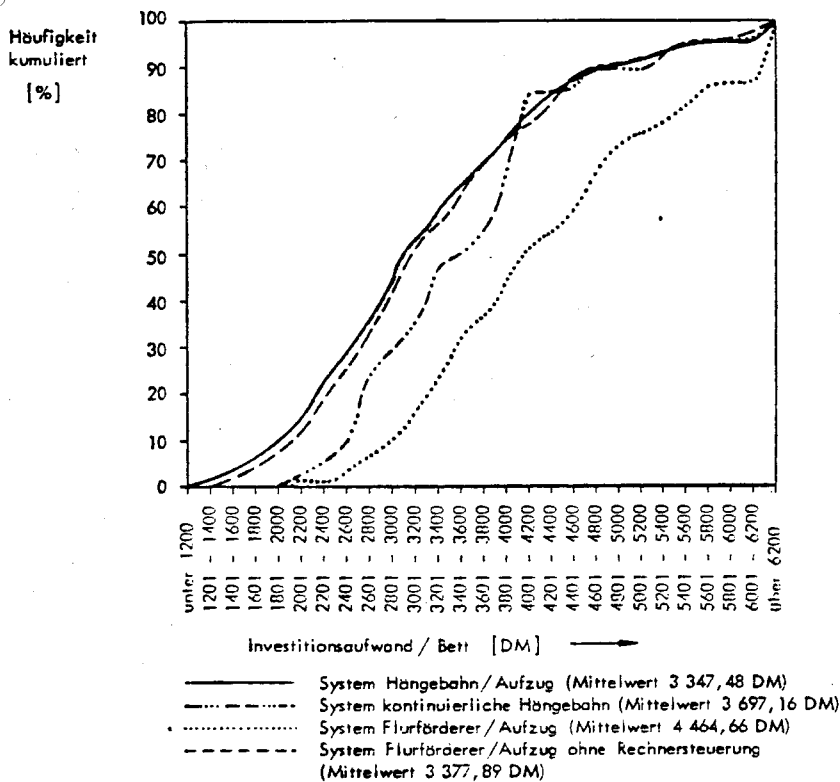


Abb. 45: Verteilung der Investitionsaufwendungen/Bett für unterschiedliche Technologien bei Linienstrukturen (normiert)

Der Vergleich von Ring- und Linienstrukturen weist darauf hin, daß Hängebahnssysteme bei Linienstrukturen zu höheren, Flurfördersysteme zu niedrigeren Investitionsaufwendungen führen. Für Flurfördersysteme wurde eine zentrale Rechnersteuerung zugrundegelegt, weil diese Systeme bisher am Markt im Regelfall so angeboten wurden. Entfällt diese überlagerte Rechnersteuerung bei Flurfördersystemen, zeigen die berechneten Schätzwerte bei Linienstrukturen eine allgemeine Annäherung an die Systeme aus Hängebahn und Aufzug.

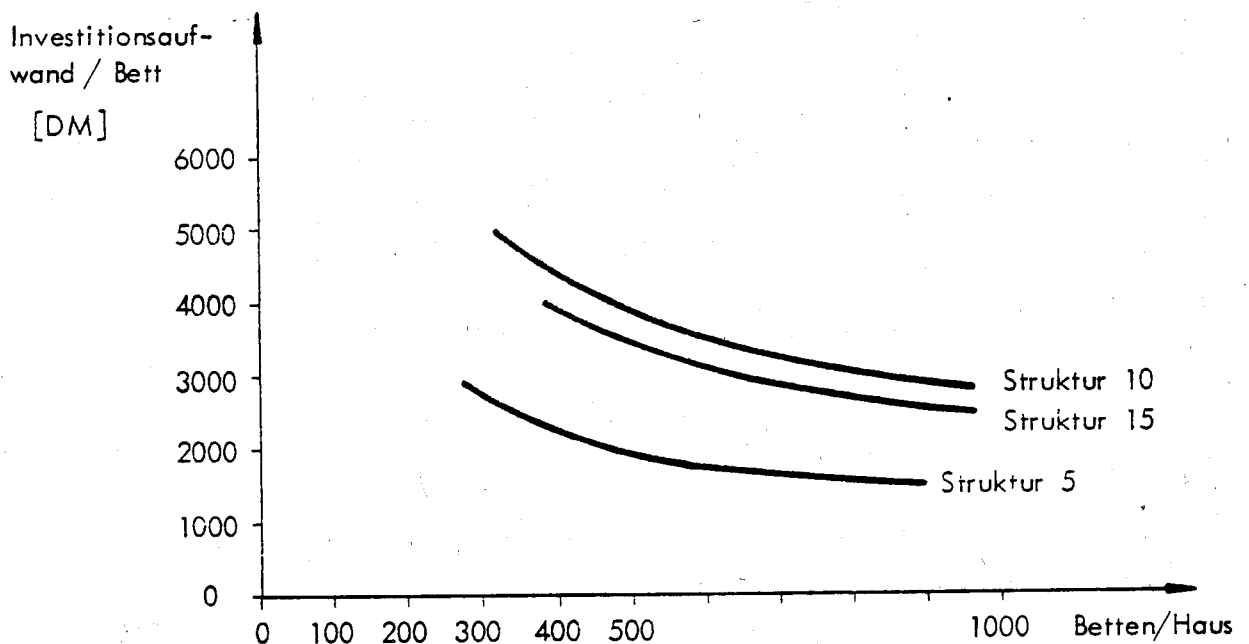
Eine detaillierte Auswertung ergab ein günstiges Ergebnis für die Technologie 'kontinuierlich horizontal und vertikal fahrende Hängebahn' dann, wenn viele Vertikalen zu berücksichtigen waren.



### 5.3.2. Vergleich unterschiedlicher Anzahlen von Pflegegeschossen

Für 3 unterschiedliche (punkt-, linien- und flächenförmige) Strukturen von Pflegeeinheiten (vgl. Strukturen 5, 10 und 15 des Anhangs) wurden Planungsrechnungen für verschiedene Geschößzahlen durchgeführt.

Abbildung 46 zeigt beispielhaft die mittleren Investitionsaufwendungen der Technologie 'Hängebahnsystem in Verbindung mit Aufzügen'.



**Abb. 46:** Vergleich des Investitionsaufwands/Bett in Abhängigkeit der Bettenzahl für verschiedene Horizontalstrukturen (Linienstrukturen - Mittelwerte der Technologien Hängebahn/Aufzug)

Für eine gegebene Horizontalstruktur fallen die Investitionsaufwendungen/Bett nach Abbildung 46 mit wachsender Bettenzahl (bzw. Geschößzahl). Aus der Darstellung geht zugleich hervor, daß zwischen den Strukturen auch bei gleicher Bettenzahl erhebliche Unterschiede in der Höhe der Investitionsaufwendungen bestehen.

Die dargestellte Degression mit zunehmender Geschößzahl hält jedoch nicht an. Jedes neu hinzukommende Geschöß bedeutet zusätzliche Anforderungen an die Transportkapazität des AWT-Systems. Bei hinreichend großen Geschößzahlen reichen dann die vorgesehenen Aufzüge nicht mehr aus. Es ergeben sich sprunghaft steigende Aufwendungen, wie es für die verglichenen Technologien aus Abbildung 47 und für die einzelnen Alternativen im Bereich der Aufwandssprünge im Detail aus Abbildung 48 für ein Beispiel (Struktur 6 des Anhangs) hervorgeht.

Dabei zeigt sich wegen des zunehmenden Einflusses des vertikalen Wegenetzanteils zunächst eine Annäherung aller technologischer Varianten. Im Bereich der wieder ansteigenden Aufwendungen kommt es zu Überschneidungen zwischen den Varianten und den einzelnen Alternativen (vgl. Details in Abbildung 48). Die Sprünge in den Aufwendungen/Bett sind bedingt durch Unterschiede bei den Grundgrößen, die der Spielzeitberechnung für Fahrwerke und Aufzüge bei den einzelnen Technologien bzw. Alternativen zugrundeliegen (vgl. Tabelle 3, S. 54) und deren Bewertung.

Die dargestellten Verläufe haben nur Gültigkeit, wenn keine Einzeloptimierungen wie etwa Wahl höherer Vertikalgeschwindigkeiten durch andere Antriebe, Änderung der Betriebszeiten, Zuordnung von bestimmten Nah- und Fernbereichen zu den Aufzügen etc., wie sie an anderer Stelle ausführlich für AWT-Systeme dargestellt werden (vgl. /69/), die Sprünge hinausschieben (hin zu einer noch höheren Geschößzahl).

Das gewählte Beispiel (Struktur 6), das mit 2 Vertikalen für bis zu 1.224 Betten (bei dann 17 Pflegegeschossen und 18 Betten/Pflegeeinheit) gerechnet wurde, stellt einen der wenigen Fälle aus den Modellrechnungen dar, wo solche Einzeloptimierungen u.U. in der Praxis zweckmäßig gewesen wären.

Die sich aus den jeweiligen Dimensionierungsrechnungen ergebenden Ursachen in Form veränderter Anzahlen erforderlicher Aufzüge, Weichen und Fahrwerke für die Sprünge sind unter Angabe der betreffenden Pflegegeschosse für die einzelnen Alternativen in Tabelle 12 aufgeführt.

Ein Vergleich der einzelnen Alternativen zeigt, daß bei Flurfördersystemen sehr schnell ein Maximum an Weichen realisiert wird.

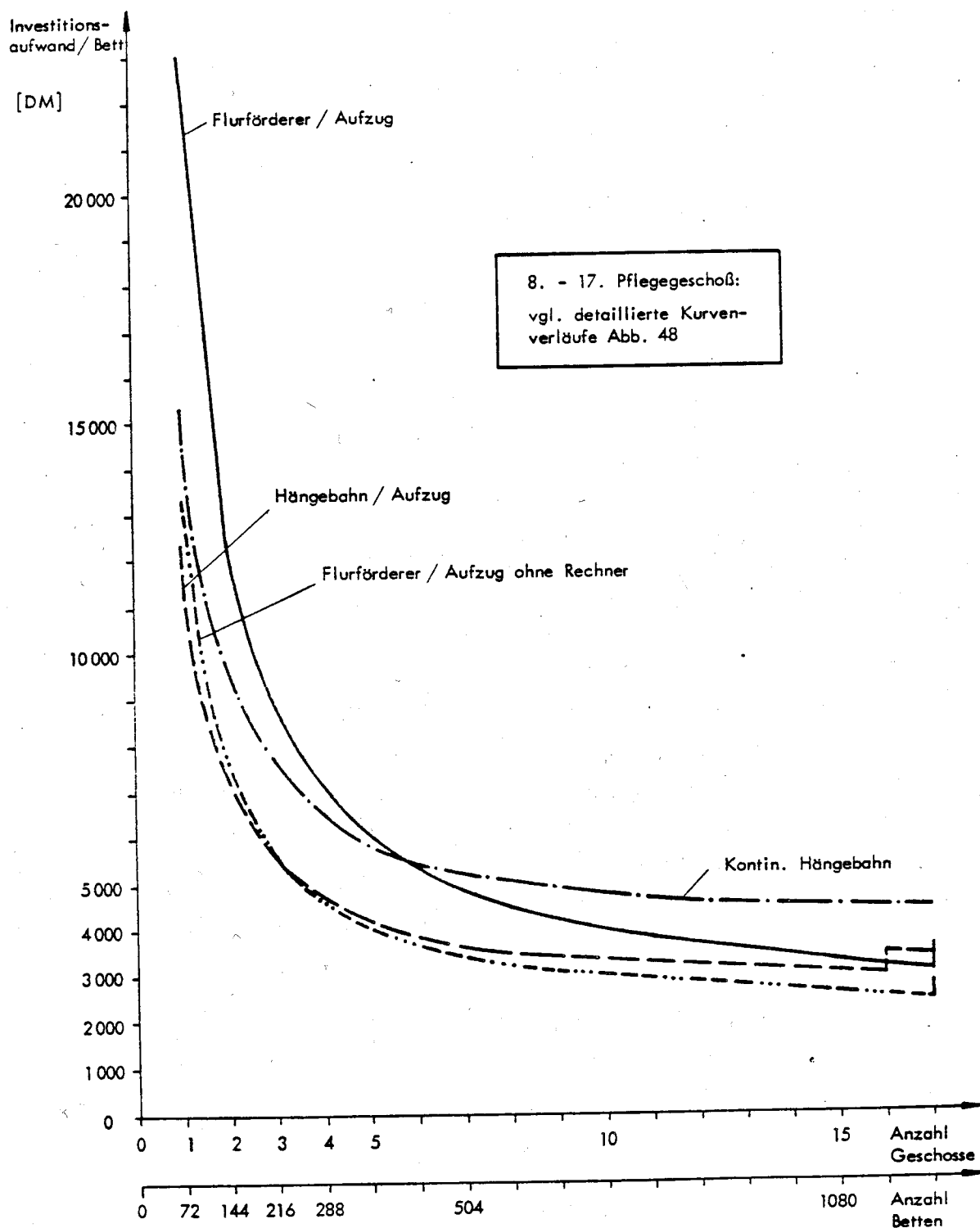


Abb. 47: Degression des Investitionsaufwands/Bett mit steigender Bettenzahl und Darstellung von Aufwandssprüngen anhand der Mittelwerte einzelner Technologien (Struktur 6,  $N_{pFE} = 18$ )

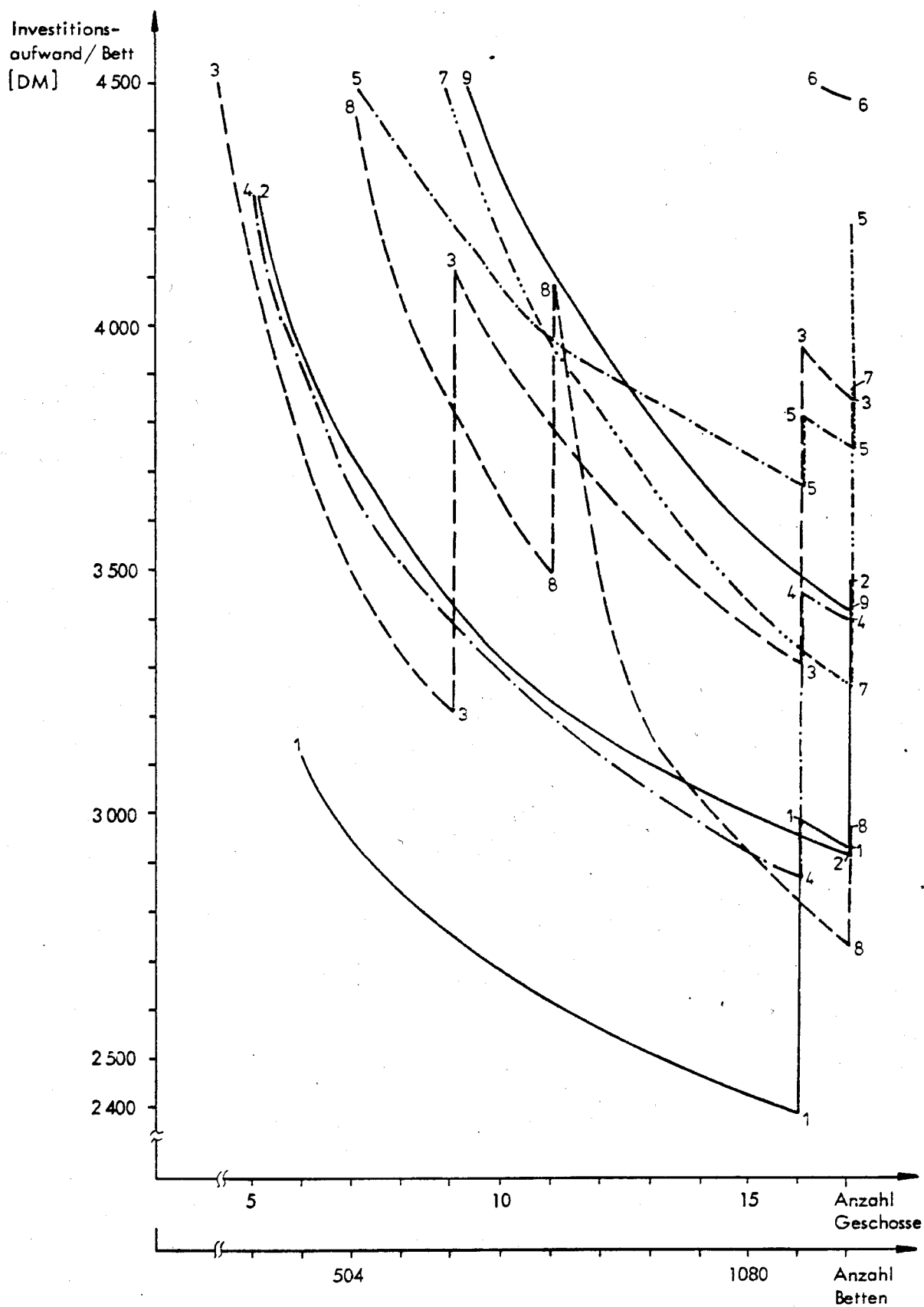


Abb. 48: Detaillierte Verläufe der Aufwandsfunktionen der einzelnen Alternativen im Bereich der Aufwandssprünge (Struktur 6,  $N_{pFE} = 18$ )

Tab. 12: Übersicht über die Anzahl ausgewählter Arbeitsmittel im Bereich der Sprungstellen der Darstellung des Investitionsaufwands (vgl. Abb. 48)

| Sprungstelle bei Alternative | Pflege-<br>geschoß<br>Nr.             | Anzahl Einzel-<br>kabinenaufzüge | Anzahl Doppel-<br>kabinenaufzüge | Anzahl<br>Fahrwerke | Anzahl<br>Weichen |
|------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------|-------------------|
| 1                            | 15                                    | 4                                | 0                                | 7                   | 0                 |
|                              | 16                                    | 8                                | 0                                | 11                  | 0                 |
| 2                            | 16                                    | 4                                | 0                                | 2                   | 14                |
|                              | 17                                    | 8                                | 0                                | 3                   | 14                |
| 3                            | 8                                     | 4                                | 0                                | 1                   | 14                |
|                              | 9                                     | 8                                | 0                                | 7                   | 0                 |
|                              | 15                                    | 8                                | 0                                | 7                   | 0                 |
|                              | 16                                    | 12                               | 0                                | 3                   | 14                |
| 4                            | 15                                    | 4                                | 0                                | 7                   | 0                 |
|                              | 16                                    | 8                                | 0                                | 10                  | 0                 |
| 5                            | 15                                    | 4                                | 0                                | 9                   | 0                 |
|                              | 16                                    | 4                                | 0                                | 3                   | 14                |
|                              | 17                                    | 8                                | 0                                | 13                  | 0                 |
| 6                            | keine Sprünge im betrachteten Bereich |                                  |                                  |                     |                   |
| 7                            | 16                                    | 4                                | 0                                | 2                   | 14                |
|                              | 17                                    | 8                                | 0                                | 3                   | 14                |
| 8                            | 10                                    | 4                                | 0                                | 2                   | 14                |
|                              | 11                                    | 8                                | 0                                | 2                   | 14                |
|                              | 12                                    | 0                                | 2                                | 6                   | 10                |
|                              | 13                                    | P                                | 2                                | 3                   | 14                |
|                              | 16                                    | 0                                | 2                                | 3                   | 14                |
|                              | 17                                    | 0                                | 2                                | 8                   | 10                |
| 9                            | keine Sprünge im betrachteten Bereich |                                  |                                  |                     |                   |

Dagegen ergeben sich bedingt durch die unterschiedliche Leistungsfähigkeit der Fahrwerke und damit durch deren Anzahl (unter Berücksichtigung nicht einheitlicher Preisrelationen Weiche - Fahrwerk) bei den einzelnen Alternativen mit Hängebahn-Fahrwerken trotz gleicher Technologie teils erhebliche Differenzen in der Anzahl verwendeter Weichen.

### 5.3.3. Veränderung der maximal zulässigen Hin-Transportzeiten

Es wurde schon darauf hingewiesen, daß Linienstrukturen dann günstig sind, wenn die Hin-Transportzeiten zu groß werden (vgl. 3.3.2., S. 64). Die Auswirkungen unterschiedlicher geforderter maximaler Hin-Transportzeiten sollen an einem Beispiel dargestellt werden (vgl. Abbildungen 49 bis 54). Aufgrund der günstigen Preisrelation Fahrwerk - Weiche realisieren Flurfördersysteme von vornherein das Maximum an Weichen (vgl. Abbildungen 49 und 52) und führen so zu einer Minimierung der Anzahl notwendiger Fahrwerke (vgl. Abbildungen 50 und 51). Eine Änderung der maximal zulässigen Hin-Transportzeiten beeinflußt diese Systeme nicht.

Dagegen führt eine Reduktion dieser Transportzeiten, sofern nicht noch Reserven vorhanden sind, zur Einführung von Weichen bei Hängebahnsystemen (Abbildung 49). Diese können zugleich die Anzahl notwendiger Fahrwerke reduzieren (vgl. Abbildung 50) und so zu nur geringfügigen Erhöhungen der Investitionsaufwendungen (und Kosten) führen (vgl. Abbildungen 51 und 54).

Eine von vornherein höhere Transportbelastung des horizontalen Netzes (etwa durch ein weiteres Pflegegeschoß) kann auch bei Hängebahnsystemen sofort zur Einführung eines Maximums an Weichen führen, wenn die entsprechende Einsparung an Fahrwerken dies rechtfertigt (vgl. Alternativen 2 und 3 in Abbildungen 52 und 53).

Festzuhalten bleibt, daß höhere Anforderungen hinsichtlich maximal zulässiger Hin-Transportzeiten i.d.R. Hängebahnsysteme kostenmäßig belasten, auf Flurfördersysteme dagegen kaum Auswirkungen haben.

### 5.3.4. Veränderung der zulässigen Speisenverteilzeit

Abbildung 55 zeigt die Wirkung der Veränderungen der Speisenverteilzeit auf die erforderlichen Investitionsaufwendungen/Bett. Für die Technologien

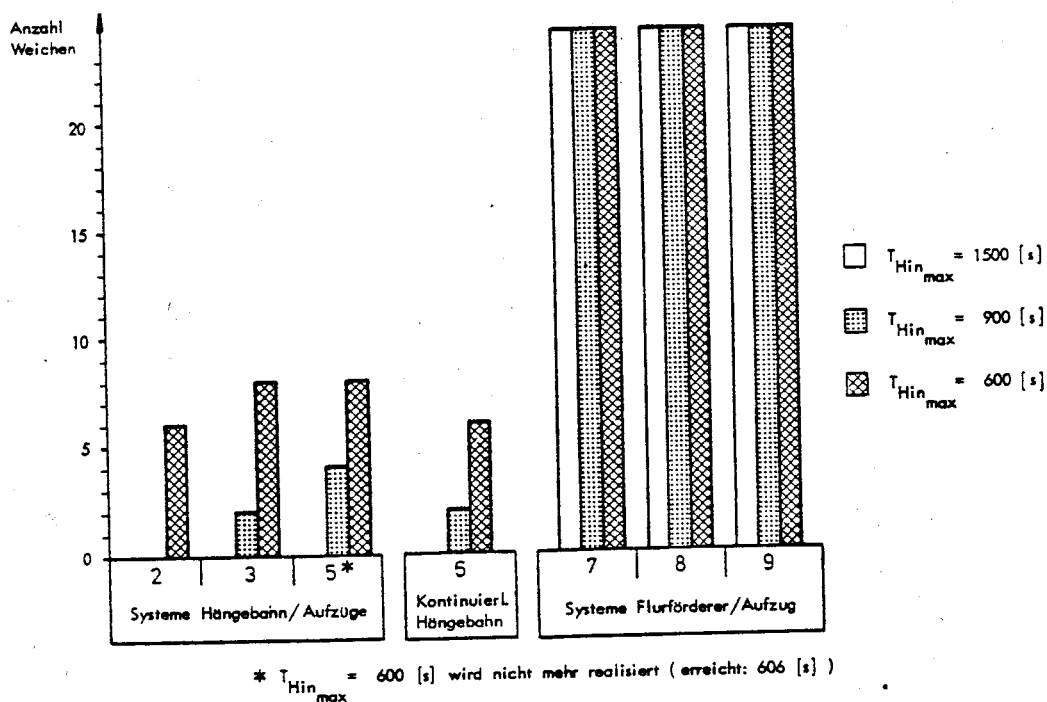


Abb. 49: Veränderung der Anzahl notwendiger Weichen bei Variation der maximal zulässigen Hin-Transportzeit an einem Beispiel (Struktur 40, Linienstruktur, 2 Ebenen, 832 Betten)

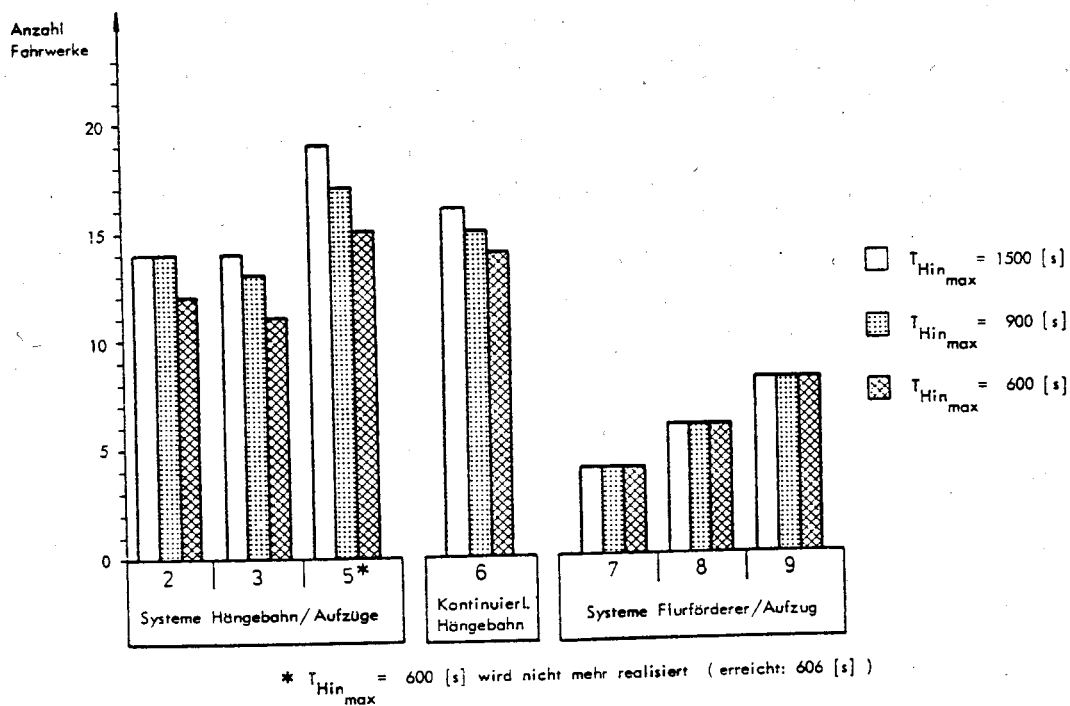


Abb. 50: Veränderung der Anzahl notwendiger Fahrwerke bei Variation der maximal zulässigen Hin-Transportzeit an einem Beispiel (Struktur 40, Linienstruktur, 2 Ebenen, 832 Betten)

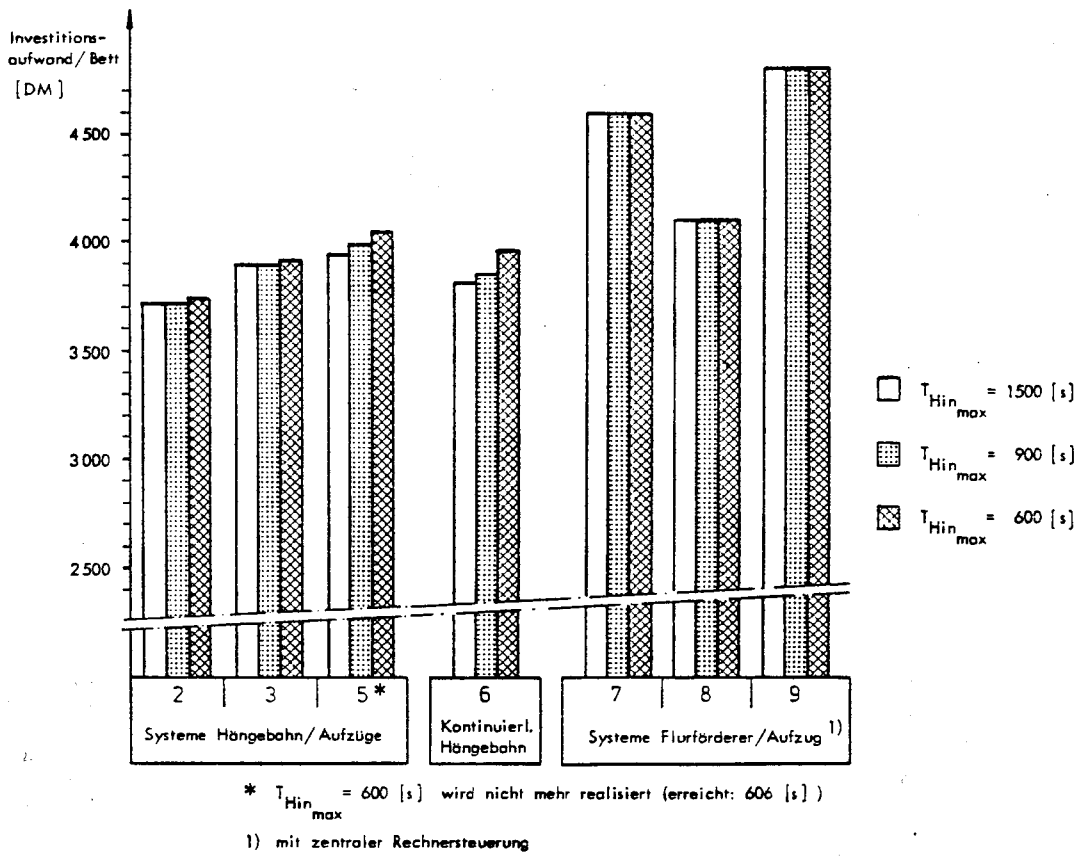


Abb. 51: Veränderung der erforderlichen Investitionsaufwendungen/Bett bei Variation der maximal zulässigen Hin-Transportzeit an einem Beispiel (Struktur 40, Linienstruktur, 2 Ebenen, 832 Betten)

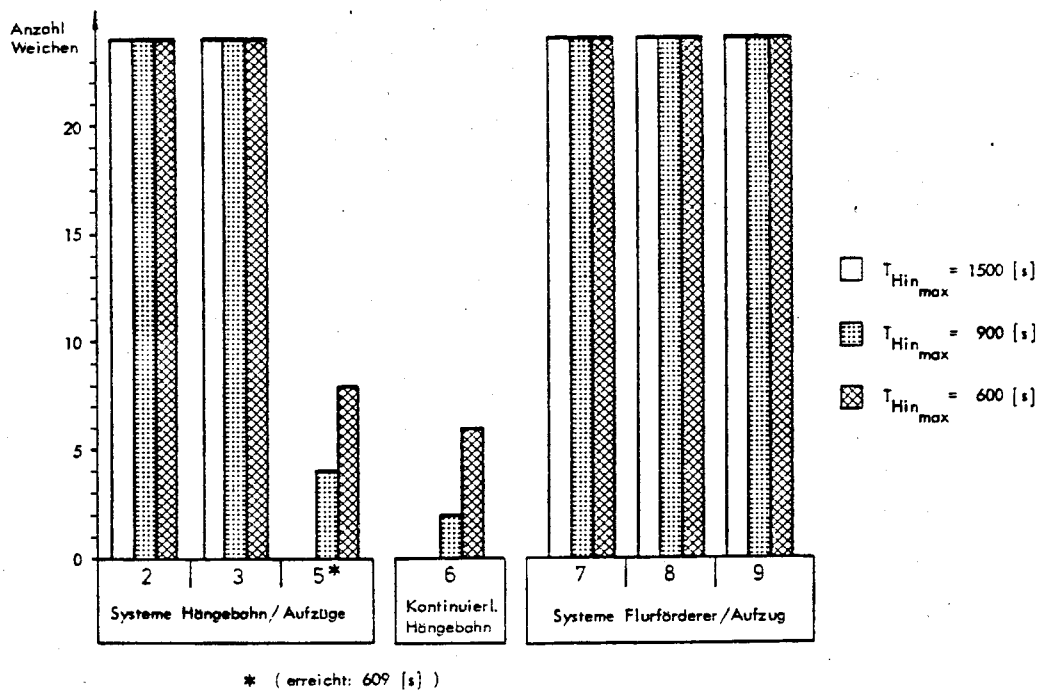


Abb. 52: Veränderung der Anzahl notwendiger Weichen bei Variation der maximal zulässigen Hin-Transportzeit an einem Beispiel (Struktur 40, Linienstruktur, 3 Ebenen, 1248 Betten)



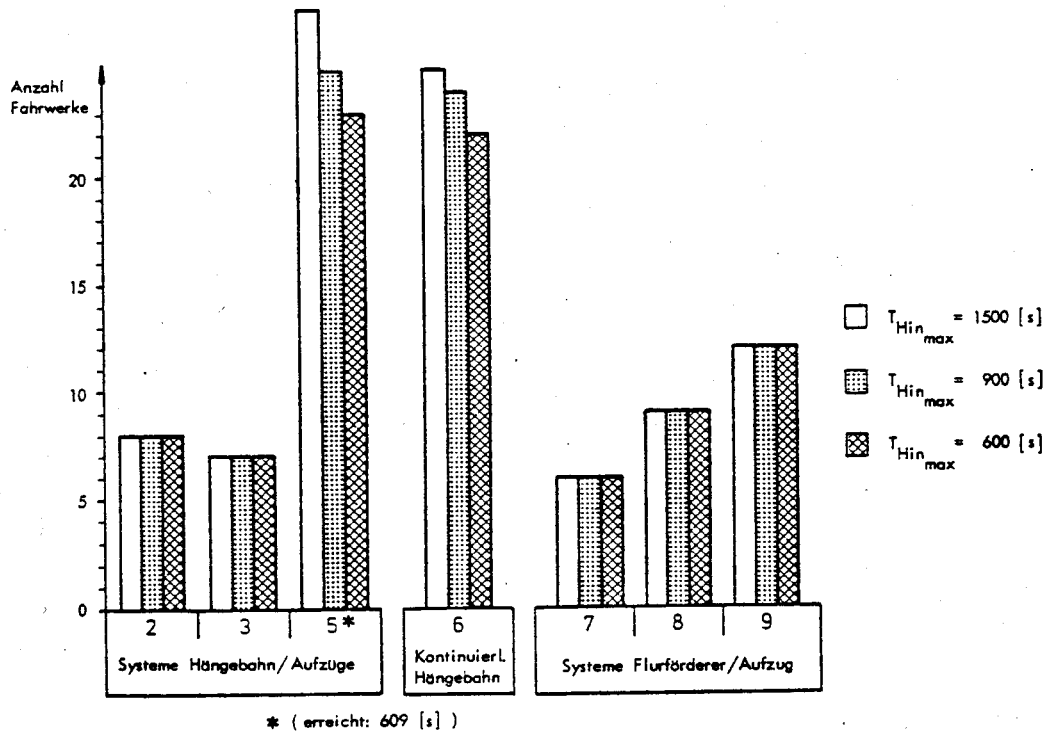


Abb. 53: Veränderung der Anzahl notwendiger Fahrwerke bei Variation der maximal zulässigen Hin-Transportzeit an einem Beispiel (Struktur 40, Linienstruktur, 3 Ebenen, 1248 Betten)

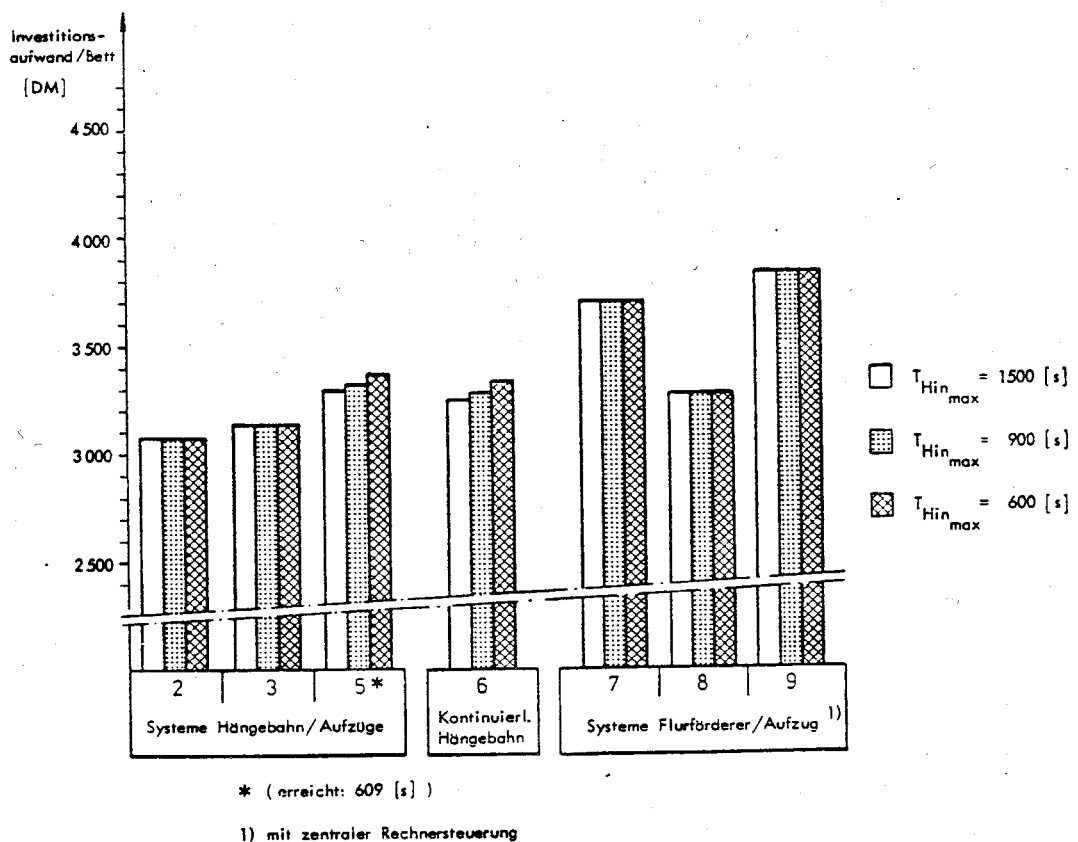


Abb. 54: Veränderung der erforderlichen Investitionsaufwendungen/Bett bei Variation der maximal zulässigen Hin-Transportzeit an einem Beispiel (Struktur 40, Linienstruktur, 3 Ebenen, 1248 Betten)

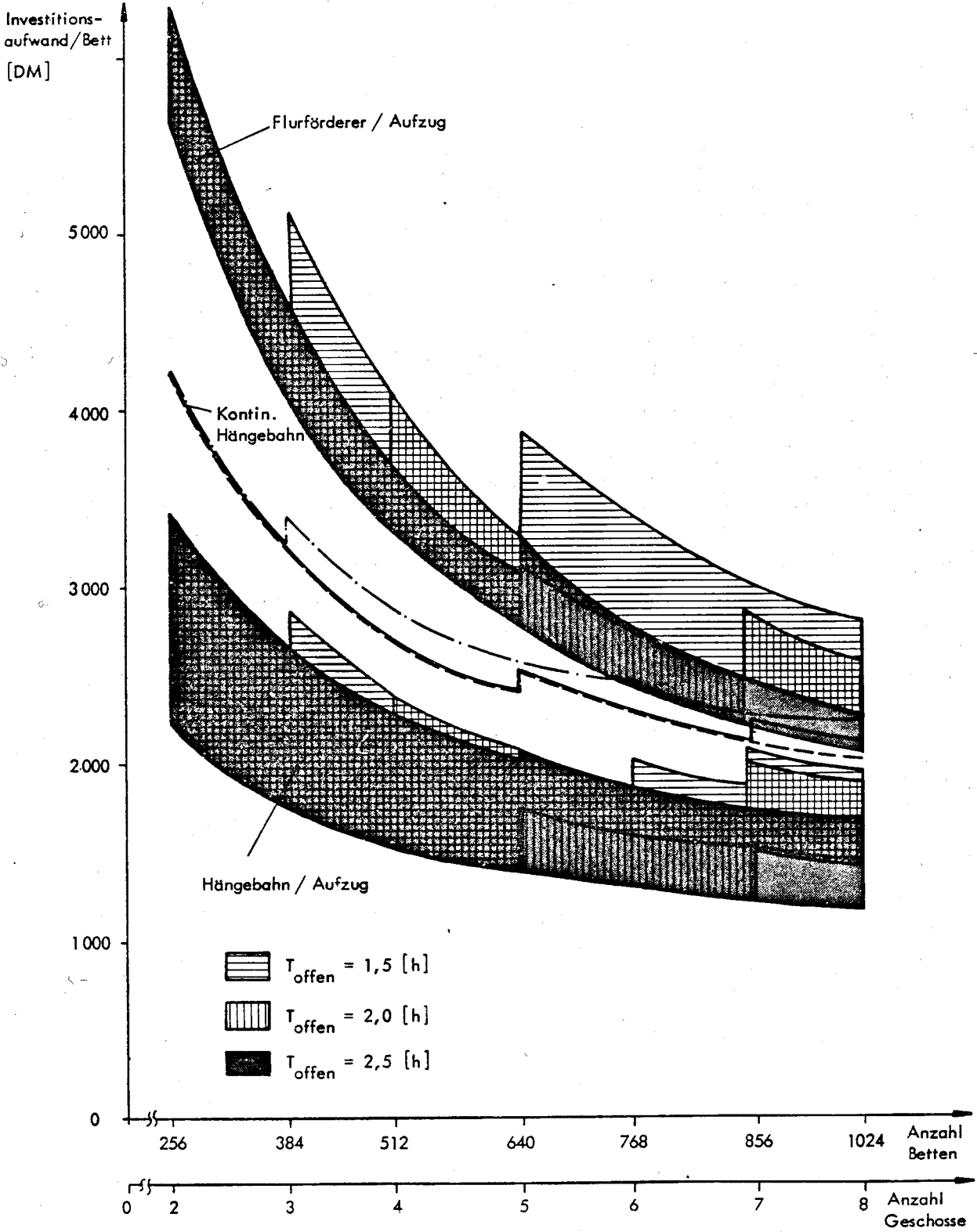
'Hängebahnsysteme in Verbindung mit Aufzügen' und 'Flurfördersysteme in Verbindung mit Aufzügen' ist der Bereich der Investitionsaufwendungen/Bett für die einzelnen Alternativen dargestellt.

Es ist davon auszugehen, daß tendenziell eine Verkürzung der zulässigen Speisenverteilzeit zu einer Erhöhung der Anzahl notwendiger Fahrwerke führt, sobald vorhandene Leistungsreserven ausgeschöpft sind. Bei Hängebahnsystemen kann ein Teil des Mehrbedarfs durch Einführung von Weichen aufgefangen werden, wenn dadurch der jeweils erforderliche Investitionsaufwand reduziert wird. Flurfördersysteme, die i.d.R. bereits eine Fahrwerksminimierung realisiert haben, werden daher kostenmäßig vergleichsweise stärker belastet. Eine gewisse Kompensation des Fahrwerksmehrbedarfs ist lediglich dann gegeben, wenn die Anzahl notwendiger Fahrwerke ursprünglich nicht durch die Batteriekapazität bestimmt wurde. Daraus läßt sich umgekehrt schließen, daß etwa eine Reduzierung der Bedienhäufigkeit (beispielsweise bei Speisen von 4 auf 2) bei Flurfördersystemen zu Kostenentlastungen führen kann, wenn dadurch die Batteriekapazität einen geringeren Einfluß auf die Bestimmung der Fahrwerksanzahl ausübt, während andere Technologien unverändert bleiben. Dieser Effekt konnte durch entsprechende Modellrechnungen für Ring- und Linienstrukturen nachgewiesen werden.

#### 5.3.5. Veränderung der Größe der Pflegeeinheit

Abbildung 55 zeigt einen Planungsfall, bei dem für eine Horizontalstruktur (Struktur 34) alternativ von 32 bzw. 16 Betten je Pflegeeinheit ausgegangen wurde. An der Gestaltung der statischen Systemteile ändert sich damit nichts.

Durch die Halbierung der Größe der Pflegeeinheit (von 32 auf 16 Betten) bei sonst unveränderten Betriebsanforderungen verdoppelt sich in etwa die Anzahl erforderlicher Wagenbewegungen. Dies bewirkt - ähnlich der Verkürzung der Speisenverteilzeit - nach dem Ausschöpfen eventuell vorhandener Leistungsreserven eine Erhöhung der Zahl der Arbeitsmittel Fahrwerke und Aufzüge. Für den betrachteten Planungsfall waren lediglich zusätzliche Fahrwerke erforderlich.



**Abb. 55:** Darstellung der Veränderung des Investitionsaufwands/Bett bei Variation der zulässigen Speisenverteilzeit an einem Beispiel (Struktur 5, Linienstruktur)

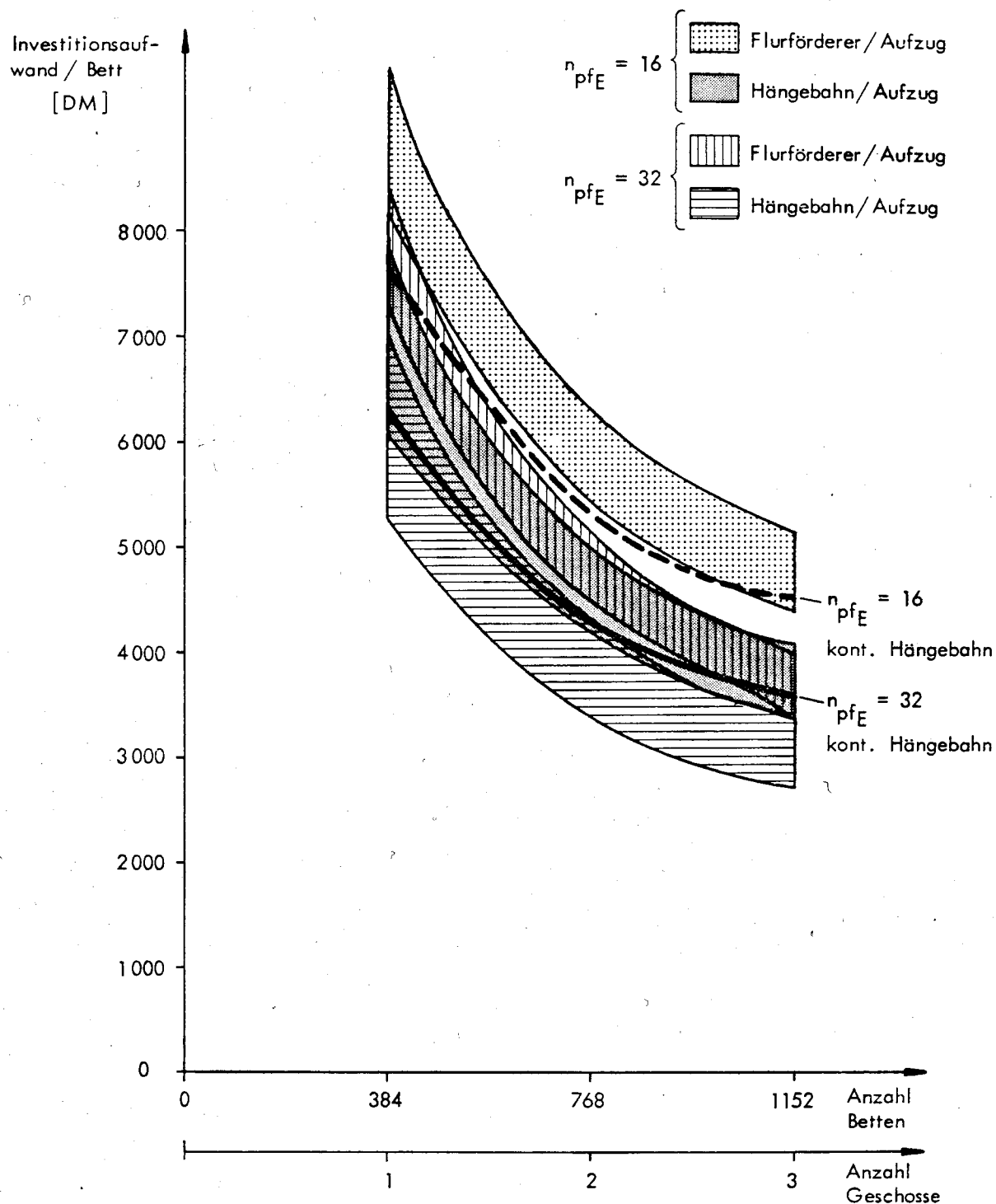


Abb. 56: Beeinflussung des Investitionsaufwandes/Bett durch Variation der Größe der Pflegeeinheit  $n_{pfe}$  an einem Beispiel  
(Struktur 34 - Linienstruktur,  $T_{Hin_{max}} = 900 \text{ s}$ )

Wegen der vorher bereits minimierten Fahrwerkszahl und der unterschiedlichen Preisrelation Hängebahn - Fahrwerk : Flurförderer - Fahrwerk wirkt sich die Erhöhung der Wagenbewegungen bei Flurfördersystemen stärker aus als bei Hängebahnsystemen.

Der erforderliche Investitionsaufwand bei Erhöhung der Wagenzahl durch Veränderung der Größe der Pflegeeinheit ist beispielhaft in Abbildung 56 dargestellt.

Außer durch die Wahl der Größe der Pflegeeinheit können Änderungen der Anzahl erforderlicher Wagenbewegungen auch verursacht werden durch Variation der Bedienhäufigkeiten sowie der Anzahl und Betriebszeiten einzelner Quellen.

## 6. Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wurden automatische Wagentransportsysteme (AWT-Systeme) als untergeordnete Systeme des Krankenhausbetriebes aufgefaßt. Ausgehend von der baulichen Struktur und den Vorgaben der Betriebsorganisation für ein beliebiges Krankenhaus wurden wesentliche für die Planung eines AWT-Systems relevante Größen beschrieben und in ihrer Wirkung auf die Dimensionierung des Systems sowie der Wahl einer Vorzugsvariante aus unterschiedlichen Technologien dargestellt.

Damit wurde erstmals ein für die wesentlichen am Markt angebotenen Technologien von AWT-Systemen geeignetes, eindeutiges und zugleich in sich nach ökonomischen Kriterien optimierendes Planungsverfahren abgeleitet. Dabei optimiert das Verfahren die Anzahl erforderlicher dynamischer Arbeitsmittel.

Das Verfahren wurde als Instrument der Vorplanung von AWT-Systemen sowie als Methode zur Gewinnung von Aussagen über spezifische Vor- und Nachteile einzelner Technologien sowie der Auswirkungen der baulichen und betriebsplanerischen Vorgaben der Planungsaufgabe auf das Planungsergebnis gewählt.

Die praxisgerechte Anwendbarkeit als Planungsverfahren wurde an Beispielen demonstriert. Sofern neu entwickelte Technologien in Auswahlentscheidungen mit einbezogen werden sollen, kann das Verfahren entsprechend angepaßt werden.

Bei der Vielzahl unterschiedlichster Strukturen (vgl. 8. Anhang) sowie der Modifikationen der betriebsplanerischen Aufgabenstellung zeigten die hier durchgeführten Modellrechnungen, daß AWT-Systeme zu vertretbarem Aufwand auch in von der Bettenzahl her kleineren Krankenhäusern eingesetzt werden können. Die aus der Praxis bekannten Investitionswerte werden dabei von denen der Modellrechnungen teilweise deutlich unterschritten<sup>1)</sup>. Dies liegt daran, daß Wagen-Wasch- und -Desinfektionsanlagen sowie Wagen- und Fahrwerksbahnhöfe nicht berücksichtigt wurden. Darüber hinaus hat die Auswertung der Modellrechnungen ergeben, daß ein - wie im vorliegenden Fall -

---

1) In der amerikanischen Literatur wird bei /30/ die Angabe von US-\$ 1.200,--/ Bett genannt; dieser Wert kommt den Resultaten der Modellrechnungen nahe

an rationalen und ökonomischen Kriterien ausgerichtetes Planungsverfahren zu deutlichen Beschränkungen der Anzahl erforderlicher Fahrwerke und bei Hängebahnsystemen auch der Weichen führt.

Zugleich konnte gezeigt werden, daß es in der weitaus überwiegenden Zahl der Anwendungsfälle eindeutige Entscheidungen auf der Basis ökonomischer Kriterien für bestimmte Technologien gibt. Damit wird die erwünschte Vorentscheidung (vgl. 1.3.) zum Zwecke der Beschränkung des Bieterkreises fast regelmäßig möglich. Voraussetzung ist eine angemessene Vorplanung durch mit dem hier entwickelten Planungsverfahren vertraute Fachingenieure. Dabei können sich auch für eine Technologie durchaus Unterschiede bei den benötigten Weichen-, Fahrwerks- und Aufzugszahlen für deren Alternativen ergeben.

Soweit es unter zeitlichen Gesichtspunkten (maximale Hin-Transportzeit) und von der Gebäudestruktur her zu vertreten ist, empfiehlt sich die Auslegung der Systeme als Ringstruktur.

Die unter den den Modellrechnungen zugrundegelegten spezifischen Prämissen und Restriktionen sich ergebenden Lösungen der einzelnen Planungsfälle deuten darauf hin, daß die kontinuierlich horizontal und vertikal fahrende Hängebahn ihr Einsatzgebiet vorzugsweise in Häusern mit vielen Vertikalen hat. Flurfördersysteme sind dann anzuwenden, wenn sie mit einfacheren und preiswerteren Steuerungssystemen (mit geringerem Komfort) ausgerüstet sind. Verzweigte Systeme mit hohen Restriktionen in bezug auf die maximal zulässige Hin-Transportzeit begünstigen Flurfördersysteme. Erhöhungen der Anzahl erforderlicher Wagenbewegungen durch entsprechende Änderungen der Größe der Pflegeeinheiten, der Bedienhäufigkeiten oder auch nur bezogen auf die maximale Belastung des Systems durch Verringerung der Speiserverteilzeit oder Verkürzung der gesamten Betriebszeit wirken sich für Hängebahnsysteme günstig aus.

Eine Berücksichtigung der so dargestellten Wechselwirkungen zwischen Planungsaufgabe und Planungsergebnis kann, sofern Revisionen der Planungsaufgabe möglich sind, zu einer weiteren Verbesserung des Planungsergebnisses führen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde darüber hinaus gezeigt, welche tendenziellen Wirkungen Änderungen der Planungsaufgabe haben.

## 7. Verzeichnisse

### 7.1. Schrifttum

- 1 Adam, W.: Modernes Krankenhaus, 2. erw. Auflage, Bd. 18 der Schriftenreihe Fortschrittliche Kommunalverwaltung, G. Grote'sche Verlagsbuchhandlung, Köln-Berlin, 1973
- 2 Aggteleky, B.: Fabrikplanung, 2. durchgesehene Auflage, Carl Hanser Verlag, München, 1971
- 3 Badura, G.: Transportkonzeption für Krankenhäuser, Materialfluß, 2 (1972) 6, S. 40 - 43
- 4 Balthasar, L.J.: Universitätsklinikum Göttingen, BRD - Mittelbehälter-Transportanlage mit Hängebahn, Tagung Transporttechnik im Krankenhaus, Zürich, 9./10.10.1975
- 5 Baumann Die Versorgungszentrale des Heidelberger Klinikums, Information 19, hrsg. vom Zentralarchiv für Hochschulbau, Stuttgart, Jg. 4, 30.11.1971, S. 18 - 49
- 6 Beck Medizinische Fakultät Göttingen Versorgungsbereich, Information 19, hrsg. vom Zentralarchiv für Hochschulbau, Stuttgart, Jg. 4, 30.11.1971, S. 50 - 67
- 7 Becker, K.; Gensewich, H.: Krankenhauskosten - Möglichkeiten der Einflußnahme auf Bau- und Betriebskosten, Die demokratische Gemeinde, 27 (1975) 8, S. 708 f.
- 8 Beisteiner, F.: Einheitliche Begriffe in Fördertechnik und Transportwesen, fördern und heben, 27 (1977) 5, S. 507 - 509
- 9 Beisteiner, F.; Fischer, W.: Fördertechnik im Fertigungsbetrieb, VDI-Zeitschrift, 119 (1977) 7, S. 379 - 383
- 10 Benkert, C.: Probleme der Transportplanung im Krankenhaus, Das fortschrittliche Krankenhaus, 1969, Nr. 6, S. 24 - 28
- 11 Beske, F.: Standardprogramm für ein Regelkrankenhaus mit 300 Betten, Das Krankenhaus, 67 (1975) 7, S. 254 - 259
- 12 Bielig, H.J.; Förster, B.; Emschermann, B.; Schulz-Gursch, W.H.; List, D.; Feier, U.; Rottka, H.: Sonderforschungsbereich (159) Krankenhausbau, Berlin, Teilprojekt E 3/F 10, Ernährung in Einrichtungen der klinischen Versorgung, Bericht über die Tätigkeiten des Teilprojektes für den Zeitraum Januar 1976 - Juni 1977



- 13 Bielig, H.J.; Emschermann, B.; Förster, B.; Schulz-Gursch, W.H.:  
Speisenversorgung in Krankenhäusern - Konzeption für Verbundsysteme in Ballungsgebieten, Krankenhaus Umschau, 46 (1977) 10, S. 313 - 316
- 14 Blanchard, B.S.:  
Logistics today, Referate des Internationalen Materialfluß-Kongresses, 27. - 29.9.1977 Berlin, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1977, S. 9 - 13
- 15 Blohm, H.; Lüder, K.:  
Investition, 3. überarb. und erweiterte Auflage, Verlag Franz Vahlen, München, 1974
- 16 Bohl, B.F.; Neuhaus, W.A.; Scheid, W.-M.:  
Systemstudie als Grundlagenmodell optimierter Instandhaltungsplanung von automatischen Transport-, Lager- und Verteilsystemen in Krankenhausanlagen, Forschungsberichte zur Industriellen Logistik, Heft 3, Institut für Logistik, Dortmund, Mai 1976
- 17 Botzenhart, K.; Krizek, L.; Thofern, E.:  
Transportanlagen in Krankenhäusern aus der Sicht der Infektionsverhütung, Das Krankenhaus, 67 (1975) 12, S. 444 - 448
- 18 Botzenhart, K.:  
Anforderungen der Hygiene an Transportsysteme für Krankenhäuser, Fachtagung Krankenhauslogistik, Dortmund, 6./7.5.1976
- 19 Bruhns, H.:  
Der Bau zentraler Anstaltswäschereien, Darmstädter Briefe, 12.5.1966, zitiert bei /51/
- 20 Bujard, A.L.:  
Speisenversorgung im Krankenhaus, Tagung Ver- und Entsorgung im Krankenhaus, München, 14./15.11.1974
- 21 Chestnut, H.:  
Methoden der Systementwicklung, dt. Übersetzung, Carl Hanser Verlag, München, 1973
- 22 Dartsch, B.:  
Bauvergabe in der Diskussion, VDI-Nachrichten, 29 (1975) 49
- 23 Deilmann, H.:  
Möglichkeiten und Grenzen der Adaption der Krankenhäuser an Strukturänderungen aus baulich-technischer Sicht, Arzt und Krankenhaus, 1 (1976) 6, S. 40 - 44
- 24 Drees, G.:  
Die Möglichkeiten des Aufbaus eines Standardleistungsbuchs für die 'Funktionale Leistungsbeschreibung', in: VDI-Berichte Nr. 251, Funktionale Leistungsbeschreibung, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1976, S. 37 - 44
- 25 Edström, O.:  
Kreiskrankenhaus Worms, BRD, Mittelbehälter-Transportanlage mit Unterfahrschlepper, Tagung Transportwesen im Krankenhaus, Zürich, 9./10.10.1975

- 26 Eichhorn, S.: Krankenhausbetriebslehre - Band I, 2. überarb. und erw. Auflage, Verlag W. Kohlhammer, Köln, 1974
- 27 Eichhorn-Raab, E.; Hähnchen, K.: Transportsysteme im Krankenhaus, Das Krankenhaus, 63 (1971) 4, zitiert bei /114/
- 28 Ellrich, M.: Über die Wirtschaftlichkeit von Automatischen Warentransportanlagen im Krankenhaus, Krankenhaus Umschau, 45 (1976) 3, S. 167 - 172
- 29 Ellrich, M.: Die Materialflußuntersuchung als Grundlage für wirtschaftliche Transportsysteme im Krankenhaus, Krankenhaus Umschau, 45 (1976) 12, S. 896 - 899
- 30 Falick, J.: Automation should not just fit old forms but aid new functions, Modern Hospital, 113 (1969) 4, S. 96 - 101
- 31 Fink, G.: Neue Technologien zur Versorgung von Krankenhäusern im Hinblick auf steigende Energie- und Wartungskosten, Krankenhaus Umschau, 46 (1977) 9, S. 725 - 727
- 32 Fischer, W.: Darstellung diskontinuierlicher Förderabläufe in Simulationsmodellen, Teil II: Charakteristische Ergebnisse, fördern und heben, 25 (1975) 15, S. 1465 - 1470
- 33 Franzke, H.: Bauvorschriften für das Land Nordrhein-Westfalen, Walhalla und Praetoria Verlag, Regensburg, 2. Aufl. 1971
- 34 Frey, S.R.: Plant Layout, Carl Hanser Verlag, München, 1975
- 35 Friesen, G.A.: Rationalisierung im Krankenhaus, Haus der Technik - Vortragsveröffentlichungen, Vulkan-Verlag, Essen, H. 173, 1968, S. 6 - 10
- 36 Fromme, M.-G.: Mittelbehälter-Transportanlage als Hängbahn, Tagung Transportwesen im Krankenhaus, Zürich, 9./10.10.1975
- 37 Fuchs, D.: Die stochastische Simulation - ein wirtschaftliches Verfahren zur Untersuchung und Gestaltung von Arbeitssystemen, Fortschrittliche Betriebsführung/Industrial Engineering, 25 (1976) 4, S. 221 - 224
- 38 Giese, H.-J.: Entscheidungshilfen für die Planung von Abfallverbrennungsanlagen in Krankenhäusern, Das Krankenhaus, 67 (1975) 8, S. A 306 - A 307
- 39 Gießler, H.: Ver- und Entsorgungsanlage in der Universitätsklinik in Freiburg System 'translift hospital', Haus der Technik - Vortragsveröffentlichungen, Vulkan-Verlag, Essen, H. 375, Fördertechnik im Krankenhaus, 1976, S. 24 - 33

- 40 Grün, L.: Beurteilung heutiger Transporttechniken aus der Sicht der Hygiene, Fachtagung Krankenhauslogistik, Dortmund, 6./7.5.1976
- 41 Grün, L.: Beurteilung heutiger Transporttechniken aus der Sicht der Hygiene, Arzt und Krankenhaus, 1 (1976) 12, S. 29 - 32
- 42 Haas, A.; Mitarbeiter: Borkowski, U.; Kermann, M.: Krankenhäuser, Verlagsanstalt Alexander Koch, Stuttgart, 1965
- 43 Halasz, I.: Eine Bewertungsmatrix für Transportsysteme, Tagung Ver- und Entsorgung im Krankenhaus, München, 14/15.11.1974
- 44 Hallauer, F.: Fünfeinhalb Jahre Arbeitsausschuß Krankenhausbau im Landesfachbeirat für das Krankenhauswesen in Nordrhein-Westfalen, Beilage zu: Das Krankenhaus, 67 (1975) 7, S. 1 - 4
- 45 Hanke, K.: Möglichkeiten der Materialflußoptimierung bei der Projektierung industrieller Betriebe, Verlag Anton Hain, Meisenheim am Glan, 1975
- 46 Harsdorf, H.; Friedrich, G.: Krankenhausfinanzierungsgesetz - Kommentar, 2. überarb. Auflage, Verlag W. Kohlhammer, Köln, 1974
- 47 Hartmann, R.: Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI), Textausgabe mit Einführung, ausf. Erläuterungen und Stichwortverzeichnis, 3. überarb. Auflage, WEKA-Verlag, Kissing, 1978
- 48 Hennebühl, H.; Wacker, W.: Der Einsatz von Einweggeschirr in Verbindung mit der zentralen Speisenverteilung, Krankenhaus Umschau, 42 (1973) 5, S. 522 - 528
- 49 Hiergeist, A.: Technik im Krankenhaus, Krankenhaus Umschau, 45 (1976) 12, S. 887 - 895
- 50 Hirscher, P.: Mittelbehälter-Bandförderanlage Kreiskrankenhaus Waldbröl, Tagung Transportwesen im Krankenhaus, Zürich, 9./10.10.1975
- 51 Höhn, H.-G.: Zentralisierung und Modernisierung von Krankenhauswäschereien, Haus der Technik - Vortragsveröffentlichungen, Vulkan-Verlag, Essen, H. 173, Technik im Krankenhaus, 1968, S. 47 - 60
- 52 Hübner, H.: Kostenrechnung im Krankenhaus, Schriften des Deutschen Krankenhausinstituts, Bd. 14, Verlag W. Kohlhammer, Köln, 1977

- 53 Jaehn, M.: Müll- und Schmutzwäschesauganlagen in Krankenhäusern, Haus der Technik - Vortragsveröffentlichungen, Vulkan-Verlag, Essen, H. 375, Fördertechnik im Krankenhaus, 1976, S. 40 - 48
- 54 Jansen, R.: Probleme der Krankenhauslogistik, Tagung Ver- und Entsorgung im Krankenhaus, München, 14./15.11.1974
- 55 Jansen, R.: Krankenhauslogistik, in: Krankenhaustechnik, Verlag Moderne Industrie, München, 1974, S. 9 - 12
- 56 Jansen, R.; Liese, A.: Das Behälterfördersystem im Kreiskrankenhaus Herford, Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen der Universität Dortmund, Mai 1975
- 57 Jansen, R.: Transporttechniken für Krankenhäuser, Fachtagung Krankenhauslogistik, Dortmund, 6./7.5.1976
- 58 Jansen, R.: Studie über ein Behälterfördersystem - Kreiskrankenhaus Herford, Fachtagung Krankenhauslogistik, Dortmund, 6./7.5.1976
- 59 Jansen, R.; Oppenauer, E.: Sonderforschungsbereich (159) Krankenhausbau, Berlin, Teilprojekt F 6: Transport-, Lager- und Verteilungssysteme für Krankenhausanlagen, Bericht über die Tätigkeiten des Teilprojektes F 6 von Januar 1976 bis Dezember 1976, 1977
- 60 Joachim, V.; Thiel, K.F.: Organisation und Wirtschaftlichkeit des innerbetrieblichen Transportdienstes im Krankenhaus, Zeitschrift für Organisation, 45 (1976) 7, S. 400 - 405
- 61 Jünemann, R.: Systemplanung für Stückgutlager, Krausskopf-Verlag, Mainz, 1971
- 62 Jünemann, R.: Automatisierte Fördersysteme für Krankenhäuser, VDI-Berichte, Nr. 238, 1975, S. 211 - 218
- 63 Jünemann, R.: Integration fördertechnischer Disziplinen, VDI-Nachrichten, 29 (1975) 49
- 64 Jünemann, R.: Einführung in die Planung, die Konstruktion und den Betrieb von Transportsystemen für Krankenhäuser, Fachtagung Krankenhauslogistik, Dortmund, 6./7.5.1976
- 65 Jünemann, R.: Vorgehensweise und Methoden der Systemplanung, Seminar Planung und Betrieb von Warenverteilzentren, Dortmund, 27./28.4.1978

- 66 Jüttemann, H.: Automatische Warentransportanlagen für Krankenhäuser, Verlag W. Kohlhammer, 1. Aufl., Stuttgart, 1976
- 67 Kamper, P.: Probleme der Krankenhausver- und -entsorgung rationell gelöst, Krankenhaus Umschau, 46 (1977) 8, S. 849 - 859
- 68 Kappeler, D.P.: Logistik im Krankenhaus - Planung von rationellen Warentransportsystemen, Distribution, 6 (1975) 4, S. 8 - 12
- 69 Kappeler, D.: (Projektleiter) Planungsgrundlagen für Warentransportsysteme zur Ver- und Entsorgung in Krankenhäusern, Hrsg.: DEMAG Systemtechnik, Hagen, 1976
- 70 Kastl, U.: Materialflußgerechte Industrieplanung, Reihe Materialfluß im Betrieb, Bd. 23, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1974
- 71 Kemna, H.; Oppenauer, E.T.; Schmitz, H.-P.: Analyse und Entwicklung von Transport-, Lager- und Verteilsystemen für Krankenhausanlagen, Bericht über die Tätigkeiten des Teilprojektes F 6 im Sonderforschungsbereich (159) Krankenhausbau, Berlin, September 1974 bis Ende 1975, März 1976
- 72 Kaßler, K.A.: Die Kosten des innerbetrieblichen Transports, Dissertation, Universität Köln, 1970
- 73 Koch, L.: Rationalisierung des Materialflusses in Maschinenbauanstalten, Dissertation, TU Berlin, 1969
- 74 Köhler, G.: Die neuen Städtischen Kliniken Fulda, Das Krankenhaus, 67 (1975) 12, S. 448 - 459
- 75 Köhler; Kässens; Schanty; Wolf: Das neue Kreiskrankenhaus in Mühlacker/Enzkreis, Das Krankenhaus, 68 (1976) 4, S. 124 - 135
- 76 Köhler; Kässens; Wörner; Righi: Das Kreiskrankenhaus Deggendorf, Das Krankenhaus, 69 (1977) 3, S. 93 - 102
- 77 Köhler; Kässens; Steffen; Wolf: Das neue Zentralklinikum Augsburg, Das Krankenhaus, 69 (1977) 5, S. 184 - 191
- 78 Krampe, W.: Waschen in hauseigener Wäscherei oder Einrichtung einer Zentralwäscherei?, Krankenhaus Umschau, 45 (1976) 4, S. 233 - 242
- 79 Lange, St.; von Steinbüchel-Rheinwall, Chr.: Grundlagen der Materiallagerung und der Materialverteilung im Krankenhaus, Das Krankenhaus, 67 (1975) 4, S. 131 - 141

- 80 Lange, St.; Schröder, J.;  
von Steinbüchel-Rheinwall,  
Chr.: Für eine neue Generation von Krankenhäusern  
(Aktuelle Probleme der Krankenhaus-Funktions-  
planung), Das Krankenhaus, 68 (1976) 1,  
S. 23 - 32
- 81 Lange, St.; von Steinbüchel-  
Rheinwall, Chr.; Ziemann, W.: Methodische AWT-Dimensionierung, Das Kran-  
kenhaus, 69 (1977) 7, S. 241 - 278
- 82 Leich, H.G.R.: Erfahrungen über Betrieb und Bau von Kran-  
kenhäusern, in: Technik im Krankenhaus,  
Haus der Technik - Vortragsveröffentlichun-  
gen, Vulkan-Verlag, Essen, H. 118, 1967,  
S. 33 - 44
- 83 Leich, H.G.R. (Bearbeiter);  
Eichhorn, S.; Sahl, R.J.;  
Vonessen, F.: Speisenverteilung in Krankenhäusern -  
Wärmewagensystem und Tablettssystem, For-  
schungsberichte des Landes Nordrhein-West-  
falen Nr. 1919, Westdeutscher Verlag,  
Köln und Opladen, 1968
- 84 Lohfert, P.: Zur Methodik der Krankenhausplanung,  
Werner-Verlag, Düsseldorf, 1973
- 85 Lohmann Der Ver- und Entsorgungsbereich des Uni-  
versitätsklinikums Köln, Information 19,  
hrsg. vom Zentralarchiv für Hochschulbau,  
Stuttgart, Jg. 4, 30.11.1971, S. 3 - 8
- 86 Lotz, H.W.: Wege zur Erneuerung von Krankenhausanlagen,  
Das Krankenhaus, 69 (1977) 11, S. 424 - 426
- 87 Mayer, W.: Analyse, Entwicklung und Bewertung von  
Alternativen für den Normalpflegebereich  
des Allgemeinkrankenhauses, Dissertation,  
TU Berlin, 1972
- 88 Möller, W.: Automatisierte Ver- und Entsorgung eines  
Krankenhauses, Krankenhaus Umschau,  
42 (1973) 3, S. 3 - 11
- 89 Müller, H.: Notwendige Korrekturen und Ergänzungen zum  
'Krankenhausbericht' der Bundesregierung,  
Das Krankenhaus, 68 (1976) 6, S. 202 - 204
- 90 Müller, H.-W. Krankenhaus und Gesundheitspolitik, Das  
Krankenhaus, 66 (1974) 1, S. 1 - 7
- 91 Nagel, K.: Neubau Krankenhaus Frankenberg/Eder,  
Das Krankenhaus, 70 (1978) 1, S. 16 - 22
- 92 Neuhaus, W.A.: Wartung und Instandhaltung von Transport-  
systemen, Fachtagung Krankenhauslogistik,  
Dortmund, 6./7.5.1976
- 93 Neuhaus, W.A.: Beitrag zur methodischen Untersuchung der  
Zuverlässigkeit in Stückgutlagersystemen,  
Dissertation, Universität Dortmund, 1977

- 94 Novotny; Mähner; Reichard: Stadtkrankenhaus Offenbach, Architekten bauen Krankenhäuser, Sondernummer der Zeitschrift 'Der Architekt', Vulkan-Verlag, Essen, Haus der Technik, S. 26 - 27, ohne Jahresangabe
- 95 Nowak; Pütz; Schneider; Wellbrock; Grunewald; Jacobi; Reisinger: Wäschereien und Trockenreinigungen in Krankenhäusern, Minster für Wohnungsbau und öffentliche Arbeiten des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.), Verlag für Wirtschaft und Verwaltung Hubert Wingen, Essen, 1969
- 96 Olshausen, H.-G.: Die FLB aus der Sicht des Bieters, in: VDI-Bericht Nr. 251, Funktionale Leistungsbeschreibung, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1976, S. 65 - 68
- 97 Oppenauer, E.T.: Neue Methode zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit von Krankenhaus transportsystemen, Das Krankenhaus, 70 (1978) 1, S. 13 - 15
- 98 Oppenauer, E.T.: Beitrag zur Lösung krankenhauser interner Transportprobleme unter dem Gesichtspunkt einer Transportkostenminimierung, unveröffentlichte wissenschaftliche Arbeit am Lehrstuhl Förder- und Lagerwesen der Universität Dortmund, 1978
- 99 Pfohl, H.-C.: Marketing-Logistik, Distribution-Verlag, Mainz, 1972
- 100 Rasmussen, E.H.: Städtisches Krankenhaus, Kopenhagen-Hvidovre, DLW-Nachrichten, 40 (1976) 60, S. 50 - 53
- 101 Reichelt, P.: Krankenhausspezifische Abfälle und Sonderabfälle sowie deren Beseitigung, Krankenhaus Umschau, 46 (1977) 3, S. 136 - 140
- 102 Reitz, H.: Auch im Krankenhaus: Rechnergesteuerter Schleppkettenförderer, fördern und heben, 23 (1973) 13, S. 737 - 739
- 103 Riethmüller, H.-U.: Aktuelle Probleme der Krankenhausplanung, Architekturwettbewerbe, H. 40, Dezember 1964, S. 2 - 16
- 104 Riethmüller, H.-U.: Neubau eines großen gegliederten Akutkrankenhauses dargestellt am Beispiel des Kreiskrankenhauses Göppingen, Architekturwettbewerbe, H. 58, Mai 1969, S. II - XXXIV
- 105 Rittinghausen, H.: Einschienenhängebahnen und Schleppkreisläufer zur Materialflußautomatisierung in der Fertigung, Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung, 71 (1976) 4, S. 154 - 162

- 106 Rittinghausen, H.: Fahrerlose Flurförderzeuge, Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung, 72 (1977) 4, S. 194 - 201
- 107 Sahl, R.J.: Gliederung und Aufbau der Krankenhäuser, Aus der Arbeit des Deutschen Krankenhausinstituts, Berichte in zwangloser Folge - Nr. 34, Oktober 1968
- 108 Sahl, R.J.: Konzeptionen in der Planung und im Bau allgemeiner Krankenhäuser, Aus der Arbeit des Deutschen Krankenhausinstituts, Berichte in zwangloser Folge - Nr. 55, Mai 1973
- 109 Sahl, R.J.: Bauplanerische Gesichtspunkte und Kriterien zur Entwicklung und zum Einsatz von Transportsystemen in Krankenhäusern, Fachtagung Krankenhauslogistik, Dortmund, 6./7.5.1976
- 110 Schachinger, E.A.: Evaluating materials handling systems for hospitals, Architectural Record, New York, 158 (1975) 9, S. 55 - 59
- 111 Scheid, W.-M.: Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit automatischer Transportanlagen für Krankenhäuser - Die Bedeutung der Kapitalkosten, Krankenhaus Umschau, 46 (1977) 6, S. 511 - 514
- 112 Schippkühler, J.: Zur Optimierung der Fördervorgänge vor und in einem Hochregallager, dargestellt mit Hilfe eines Simulationsmodells, Dissertation, TU Berlin, 1972
- 113 Scholz, D.W.: Die Planung der Spitalwäscherei, Krankenhaus Umschau, 45 (1976) 11, S. 794 - 802
- 114 Scholz, H.: Bearbeitung für Automatische Gütertransportsysteme in Krankenhäusern, in: Hubschrauberlandeplätze, Stromversorgung, Automatische Gütertransportsysteme in Krankenhäusern, Sterilisation in Kliniken, Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern, Arbeitsgruppe Klinikbau, 6. Teilbericht, Januar 1975
- 115 Schwarz, H.: Optimale Investitionsentscheidungen, Verlag Moderne Industrie, München, 1967
- 116 Schweitzer, Laage und Partner: Kreiskrankenhaus Heidenheim, DLW-Nachrichten, 40 (1976) 60, S. 20 - 21
- 117 Securius, W.: Auswirkungen der Krankenhausgesetzgebung auf Planung und Bau von Einrichtungen des Gesundheitswesens, Arzt und Krankenhaus, 1 (1976) 7, S. 26 - 33



- 118 Spilmann, W.M.; von Steinbüchel-Rheinwall, Chr.: Evolution der Förderanlagen im Krankenhaus, fördern und heben, 25 (1975) 6, S. 570 - 571
- 119 Spink, G.: A Survey of Automatic Materials Distribution Systems, Hospitals, Chicago, 43 (1969) 3, S. 53 - 58
- 120 Stalder, F.: Funktionsbezogene Ver- und Entsorgungssysteme im Krankenhaus, Tagung Ver- und Entsorgung im Krankenhaus, München, 14./15.11.1974
- 121 Steinmetz, K.H.: Zentralklinikum Augsburg, BRD - Mittelbehälter-Transportanlage mit Hängebahn, Tagung Transporttechnik im Krankenhaus, Zürich, 9./10.10.1975
- 122 Stemmer, G.: Darstellung diskontinuierlicher Förderabläufe in Simulationsmodellen, Teil 1, fördern und heben, 25 (1975) 11, S. 1069 - 1073
- 123 Thofern, E.: Hygieneprobleme im Krankenhaus, Krankenhaus Umschau, 46 (1977) 9, S. 690 - 693
- 124 Utz, C.: Simulation automatischer Warentransportanlagen, Industrielle Organisation, 46 (1977) 3, S. 135 - 138
- 125 Volkmar, H.: 10 Jahre Wäschereierhebung, Krankenhaus Umschau, 45 (1976) 11, S. 789 - 791
- 126 Wallny, F.: Fahrerlose Flurförderzeuge und Transportsysteme, VDI-Z, Bd. 119 (1977) 5, S. 239 - 244
- 127 Welge, Ch.: Einsatzerfahrungen mit einer Behälterförderanlage, Tagung Ver- und Entsorgung im Krankenhaus, München, 14./15.11.1974
- 128 Welge, Ch.: Erfahrungen des Betreibers mit einem automatischen Transportsystem - Kreiskrankenhaus Herford, Tagung Transporttechnik im Krankenhaus, Zürich, 9./10.10.1975
- 129 Whitehead, B.; Eldars, M.Z.: An Approach to the Optimum Lay-Out of Single Storey Buildings, London 1964, S. 1374 ff., zitiert bei /84/
- 130 Wischer, R.: Krankenhausbau gestern, heute, morgen, DLW-Nachrichten, 40 (1976) 60, S. 5 - 8
- 131 Wörner, H.O.: Entwicklungstendenzen bei der Planung und dem Entwurf von allgemeinen Krankenhäusern, in: Haus der Technik - Vortragsveröffentlichungen, Vulkan-Verlag, Essen, H. 173, 1968, S. 20 - 30

- 132 Wüthrich, H.: Grundlagen und praktische Ratschläge zur Planung und Erstellung von Groß-Wäschereien; Krankenhaus Umschau, 44 (1975) 12, S. 920 - 927
- 133 o.V. Planning the Patient Care Unit in the General Hospital, US Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service, Division of Hospital and Medical Facilities, Washington, D.C., June 1962, zitiert bei /103/
- 134 o.V. Rationalisierung der Transportorganisation in den Städtischen Krankenanstalten West-Berlins, TU Berlin, Institut für Krankenhausbau, 1970
- 135 o.V. translift hospital, Broschüre der Translift-Wyhlen Gesellschaft für Hebe- und Förderanlagen mbH., Wyhlen/Baden, 1970
- 136 o.V. Le problème des transports internes dans l'hôpital, Techniques Hospitalières, 26 (1970) 303, S. 64 - 67
- 137 o.V. TGL 10733, Blatt 1, DDR-Standard, Bauten des Gesundheitswesens, Bettenhäuser, funktionelle, bautechnische und brandschutztechnische Forderungen, April 1971
- 138 o.V. Landeskrankenhausplan, Minister für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, Juni 1971
- 139 o.V. VOB Verdingungsordnung für Bauleistungen, Ausgabe 1973, hrsg. vom Deutschen Normenausschuß, Beuth Verlag, Berlin, 1973
- 140 o.V. Dokumentation von Krankenhausprojekten und -bauten, DKI-Archiv 2, 1975, Beilage zu Das Krankenhaus, 67 (1975) 6
- 141 o.V. Dokumentation von Krankenhausprojekten und -bauten, DKI-Archiv 3/4, 1975, Beilage zu Das Krankenhaus, 67 (1975) 12
- 142 o.V. Das Kreiskrankenhaus Rhein-Hunsrück in Simmern, Hrsg.: Kreisverwaltung des Rhein-Hunsrück-Kreises, Simmern, November 1975
- 143 o.V. Nutzen-Kosten-Analyse für das Cabinentaxi (Kurzfassung), hrsg. vom Bundesministerium für Forschung und Technologie, Bonn, Redaktion: WIBERA Wirtschaftsberatung AG, Düsseldorf, 1. Aufl., Bonn, 1975
- 144 o.V. Automation in hospitals, British Hospitals - Home and Overseas, 1975, No. 11, S. 9 - 11

- 145 o.V. Bundesbaugesetz, 12. Neubearb. Auflage, Stand: Mai 1975, C.H. Beck'sche Verlagsbuchhandlung, München, 1975, insbesondere Anlage 8 'Technische Lebensdauer von besonderen Betriebseinrichtungen und Gerät'
- 146 o.V. Arbeitszeitanalyse bei Krankenschwestern, Arzt und Krankenhaus, 1 (1976) 8, S. 6
- 147 o.V. Krankenhaus Velbert, DLW-Nachrichten, 40 (1976) 60, S. 2
- 148 o.V. Das Krankenhaus Reinbek St. Adolf-Stift, hrsg. vom Krankenhaus Reinbek St. Adolf-Stift, Reinbek, 1976
- 149 o.V. Dokumentation von Krankenhausprojekten und -bauten, DKI-Archiv 1, 1977, Beilage zu Das Krankenhaus, 69 (1977) 4
- 150 o.V. Organisationsformen mit warmgehaltenen Speisen aus Zentralküchen, GV-Praxis, 17 (1977) 3, S. 81 - 82
- 151 o.V. Statistisches Jahrbuch 1977 für die Bundesrepublik Deutschland, Hrsg.: Statistisches Bundesamt Wiesbaden, Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart und Mainz, August 1977
- 152 o.V. Verordnung über die Abgrenzung und die durchschnittliche Nutzungsdauer von Wirtschaftsgütern in Krankenhäusern (Abgrenzungsverordnung - AbgrV), Bundesrats-Drucksache 423/77 vom 8.9.1977 (bislang nicht in Kraft)
- 153 o.V. Krankenhaus Eichhof Lauterbach, zur Einweihung des Funktionstrakt-Neubaues im Februar 1977, hrsg. vom Vorstand des Krankenhauses Eichhof, 1977
- 154 o.V. Hol- und Bringedienst ohne Engpaß, Materialfluß, 8 (1978) 2, S. 21 - 23
- 155 o.V. Städtische Kliniken Fulda, SEL Behälterförderanlage TS 75, Anlagenbeschreibung vom 1.8.1975, Standard Elektrik Lorenz AG, Berlin
- 156 o.V. Babcock Transport- und Lagersysteme GmbH., Schwieberdingen, Automatisierte Fördertechnik, Transport im Krankenhaus - ohne Personaleinsatz, transport und lagertechnik, 1/2, 1976, S. 66 - 67

- 157 o.V. Die Von Roll 3-D-Bahn, Broschüre der Von Roll-Schindler Förderanlagen AG, Schlieren/Schweiz
- 158 o.V. SEL-Transportsystem TS 75 für Krankenhäuser und Kliniken, Standard Elektrik Lorenz AG, Berlin
- 159 o.V. SEL-Transportsysteme TS 120 für Krankenhäuser und Kliniken, Standard Elektrik Lorenz AG, Berlin
- 160 o.V. Schindler-Hängebahnsystem, Schindler Aufzügefabrik GmbH, Berlin
- 161 o.V. Schindler-Robotrailer-System, Schindler Aufzügefabrik GmbH, Berlin

## 7.2. Abbildungen

- 1 Technologien angebotener und installierter (bzw. in Auftrag befindlicher) AWT-Systeme (Bundesrepublik Deutschland)
- 2 Schematische Zuordnung von Untersuchung/Behandlung und Pflege bei Horizontal- und Vertikaltypen und Darstellung der Erweiterungsmöglichkeiten
- 3 Beispiel für die Zuordnung von Pflegeeinheiten und physischen Senken
- 4 Zuordnung von Pflegeeinheiten und physischen Senken
- 5 Vergleich von Auffüll- und Austauschsystem (am Beispiel der Wäschever- und -entsorgung)
- 6 Zuordnungsmöglichkeiten für Wagen, Quellen und Senken
- 7 Transportablauf unter Berücksichtigung hygienischer Forderungen
- 8 Puffer bei Übergabe Sendestation - Fahrwerk
- 9 Puffer bei Übergabe zwischen horizontalem und vertikalem Netz
- 10 Puffer bei Übergabe Aufzug - Empfangsstation
- 11 Darstellung von Sende- bzw. Empfangsstationen an Vertikalen
- 12 Flurfördersystem mit Stetigförderern für Übergabe an Aufzüge
- 13 Flurförderer fährt mit Wagen in Aufzug ein
- 14 Verschiebehubwagen holt von Flurförderer abgesetzten Wagen in den Aufzug
- 15 Transportaufgabe, die nur Einzelspiele erlaubt (schematisch)
- 16 Transportaufgabe, die Einzelspiele und kombinierte Spiele zuläßt (schematische Darstellung)
- 17 Prinzipdarstellung für systemspezifische Anordnungen von Aufzügen zur Trasse
- 18 Schema zur Berechnung mittlerer Spielzeiten für Fahrwerke ( $T_E, T_K$ )
- 19 Ermittlung der mittleren Förderhöhe zur Berechnung eines Einzelspiels ( $T_{E_{\text{Aufz}}}$ )
- 20 Ermittlung zur Berechnung der mittleren Einzelspielzeit für Aufzüge ( $T_{E_{\text{Aufz}}}$ )
- 21 Ermittlung der mittleren Förderhöhen zur Berechnung kombinierter Spiele ( $T_{K_{\text{Aufz}}}$ )

- 22 Unterschiede bei Vertikalen zwischen Systemen mit und ohne Aufzug
- 23 Beispiel für die Erzeugung einer Ringstruktur
- 24 Ringstrukturen - Anordnungsmöglichkeiten von Quellen und Senken
- 25 Beispiel für die Erzeugung einer Linienstruktur (Ausgangslösung)
- 26 Einführung von 2 Weichen zur Abkürzung des Hin-Weges
- 27 Typen von 2-er-Weichen-Anordnungen
- 28 Anordnung einer 3-er-Weichen-Kombination
- 29 4-er-Weichen-Anordnung
- 30 Layout des Anwendungsbeispiels mit linienförmiger Anordnung der Pflegeeinheiten
- 31 Darstellung ausgewählter Daten der Planungsaufgabe
- 32 Darstellung ausgewählter Ergebnisse der Dimensionierungsrechnung (Linienstruktur)
- 33 Übersicht über aus der Dimensionierungsrechnung resultierende technische Größen (Linienstruktur)
- 34 Layout des Anwendungsbeispiels mit flächiger Anordnung der Pflegeeinheiten
- 35 Darstellung ausgewählter Daten der Planungsaufgabe
- 36 Darstellung ausgewählter Ergebnisse der Dimensionierungsrechnung für Ring- und Linienstruktur
- 37 Übersicht über aus der Dimensionierungsrechnung resultierende technische Größen (Ringstruktur)
- 38 Übersicht über aus der Dimensionierungsrechnung resultierende technische Größen (Linienstruktur)
- 39 Layout des Anwendungsbeispiels Erweiterung eines Altbaues
- 40 Darstellung ausgewählter Daten der Planungsaufgabe
- 41 Darstellung ausgewählter Ergebnisse der Dimensionierungsrechnung (Linienstruktur)
- 42 Übersicht über aus der Dimensionierungsrechnung resultierende technische Größen (Linienstruktur)
- 43 Vergleich der Investitionsaufwendungen/Bett bei Ring- und Linienstrukturen (Mittelwerte)
- 44 Verteilung der Investitionsaufwendungen/Bett für unterschiedliche Technologien bei Ringstrukturen (normiert)

- 45 Verteilung der Investitionsaufwendungen/Bett für unterschiedliche Technologien bei Linienstrukturen (normiert)
- 46 Vergleich des Investitionsaufwands/Bett in Abhängigkeit der Bettenzahl für verschiedene Horizontalstrukturen (Linienstrukturen - Mittelwerte der Technologie Hängebahn/Aufzug)
- 47 Degression des Investitionsaufwands/Bett mit steigender Bettenzahl und Darstellung von Aufwandssprüngen anhand der Mittelwerte einzelner Technologien (Struktur 6,  $N_{\text{pFE}} = 18$ )
- 48 Detaillierte Verläufe der Aufwandsfunktionen der einzelnen Alternativen im Bereich der Aufwandssprünge (Struktur 6,  $N_{\text{pFE}} = 18$ )
- 49 Veränderung der Anzahl notwendiger Weichen bei Variation der maximal zulässigen Hin-Transportzeit an einem Beispiel (Struktur 40, Linienstruktur, 2 Ebenen, 832 Betten)
- 50 Veränderung der Anzahl notwendiger Fahrwerke bei Variation der maximal zulässigen Hin-Transportzeit an einem Beispiel (Struktur 40, Linienstruktur, 2 Ebenen, 832 Betten)
- 51 Veränderung der erforderlichen Investitionsaufwendungen/Bett bei Variation der maximal zulässigen Hin-Transportzeit an einem Beispiel (Struktur 40, Linienstruktur, 2 Ebenen, 832 Betten)
- 52 Veränderung der Anzahl notwendiger Weichen bei Variation der maximal zulässigen Hin-Transportzeit an einem Beispiel (Struktur 40, Linienstruktur, 3 Ebenen, 1248 Betten)
- 53 Veränderung der Anzahl notwendiger Fahrwerke bei Variation der maximal zulässigen Hin-Transportzeit an einem Beispiel (Struktur 40, Linienstruktur, 3 Ebenen, 1248 Betten)
- 54 Veränderung der erforderlichen Investitionsaufwendungen/Bett bei Variation der maximal zulässigen Hin-Transportzeit an einem Beispiel (Struktur 40, Linienstruktur, 3 Ebenen, 1248 Betten)
- 55 Darstellung der Veränderung des Investitionsaufwands/Bett bei Variation der zulässigen Speiserverteilzeit an einem Beispiel (Struktur 5, Linienstruktur)
- 56 Beeinflussung des Investitionsaufwands/Bett durch Variation der Größe der Pflegeeinheit an einem Beispiel (Struktur 34, Linienstruktur,  $T_{\text{Hin max}} = 900 \text{ s}$ )

### 7.3. Tabellen

- 1 Übersicht über die Aufteilung der durchschnittlich zu transportierenden Volumina
- 2 Durchschnittliches Transportgutaufkommen
- 3 Ausgewählte Grundgrößen für Spielzeitberechnungen
- 4 Ergebnisse der Umfrage zur Lebensdauer von AWT-Systemen (Stand Mai 1978)
- 5 Faktoren zur Bestimmung fiktiver Abschreibungsbeträge
- 6 Überschlägige Angabe der verwendeten Anhaltswerte
- 7 Zusammenhang zwischen minimal erforderlicher Bedienhäufigkeit und maximal zulässiger Größe einer Pflegeeinheit (bezogen auf 1 Wagen/Pflegeeinheit)
- 8 Übersicht über die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsrechnung (Linienstruktur - Planungshorizont 25 Jahre)
- 9 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsrechnung bei Änderung des Planungshorizonts (auf 20 bzw. 15 Jahre)
- 10 Übersicht über die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsrechnung (Planungshorizont 25 Jahre)
- 11 Übersicht über die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsrechnung (Planungshorizont 25 Jahre)
- 12 Übersicht über die Anzahl ausgewählter Arbeitsmittel im Bereich der Sprungstellen der Darstellung des Investitionsaufwands/Bett (vgl. Abb. 48)




## 7.4. Formelzeichen

|                 |                                                                                               |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| $FH$            | Förderhöhe bei Aufzügen                                                                       |
| $\overline{FH}$ | Mittlere Förderhöhe bei Aufzügen                                                              |
| $GH$            | Geschoßhöhe (im Bettenhaus)                                                                   |
| $N$             | Anzahl der Bettengeschosse                                                                    |
| $n_i$           | Anzahl der an die Vertikale $i$ angebundenen Pflegeeinheiten                                  |
| $n_L$           | Lebensdauer                                                                                   |
| $n_P$           | Planungshorizont                                                                              |
| $n_{Pf}$        | Anzahl Betten/Pflegeeinheit                                                                   |
| $N_{Aufz}$      | Anzahl Aufzüge                                                                                |
| $N'_{Aufz}$     | Anzahl in einer Transportrichtung erforderlicher Aufzüge                                      |
| $N_{Aufz}(i)$   | Anzahl Aufzüge an der Vertikalen $i$                                                          |
| $N'_{Aufz}(i)$  | Anzahl in einer Transportrichtung erforderlicher Aufzüge an der Vertikalen $i$                |
| $N_{FW}$        | Anzahl Fahrwerke (ohne Leistungsbeschränkung)                                                 |
| $N'_{FW}$       | Anzahl Fahrwerke (aufgrund der Leistungsbeschränkung durch die beschränkte Batteriekapazität) |
| $N_E$           | Anzahl Einzelspiele (bezogen auf Fahrwerke)                                                   |
| $N_K$           | Anzahl kombinierter Spiele (bezogen auf Fahrwerke)                                            |
| $N_W$           | Anzahl einer Quelle zugeordneter Wagen ( $\cong$ Anzahl der Pflegeeinheiten)                  |
| $O_{ij}$        | Objekttransformation (bezogen auf Zustand $i$ und Zustand $j$ )                               |
| $P$             | Steigerungsrate der Wiederbeschaffungswerte (pro Jahr)                                        |
| $S_E$           | Mittlerer Weg bei Einzelspielen (bezogen auf Fahrwerke)                                       |
| $S_j$           | Senke $j$                                                                                     |
| $S_K$           | Mittlerer Weg bei kombinierten Spielen (bezogen auf Fahrwerke)                                |
| $SM$            | Sockelmaß (Differenz zwischen Fußpunkt und 1. Bettengeschoß einer Vertikalen)                 |
| $T_{Abf}$       | Abfertigungsrate (zeitlicher Abstand an einer Quelle versandte Wagen)                         |

|                                                 |                                                                                      |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| $T_{\text{Auf}}$                                | Minimale Aufenthaltszeit eines Wagens an einer Senke                                 |
| $T_{\text{Auf}}$                                | Einbeziehung anderer konstanter Zeitanteile in die Minimale Aufenthaltszeit          |
| $T_E$                                           | Einzelspielzeit (Fahrwerk)                                                           |
| $T_{\text{Ein}}(i)$                             | Eintreffrate von Wagen an der Vertikalen $i$                                         |
| $T_{E_{\text{Aufz}}}$                           | Einzelspielzeit (Aufzüge)                                                            |
| $T_{E_{\text{Aufz}}}(i)$                        | Einzelspielzeit eines Aufzuges an der Vertikalen $i$                                 |
| $T_{E_{\text{Aufz}}_{\text{Hin}}}$              | Hin-Transportzeit eines Aufzuges (vom Fußpunkt zu einer Pflegeeinheit)               |
| $T_{E_{\text{Aufz}}_{\text{Hin}}_{\text{max}}}$ | Maximale Hin-Transportzeit eines Aufzuges                                            |
| $T_{E_{\text{Aufz}}_{\text{Rück}}}$             | Rück-Transportzeit eines Aufzuges                                                    |
| $T_{E_{\text{Hin}}}$                            | Hin-Transportzeit eines Fahrwerks (von der Quelle bis zur Übergabe)                  |
| $T_{E_{\text{Hin}}}(i)$                         | Hin-Transportzeit eines Fahrwerks (bezogen auf eine Übergabe an der Vertikalen $i$ ) |
| $T_{E_{\text{Rück}}}$                           | Rück-Transportzeit eines Fahrwerks                                                   |
| $T_{\text{Förderer}}$                           | Transportzeit eines Stetigförderers oder Verschiebewagens (Konstante)                |
| $T_{\text{Hin}}_{\text{max}}$                   | Maximale Hin-Transportzeit eines Wagens von der Quelle zur Senke                     |
| $T_K$                                           | Kombinierte Spielzeit (Fahrwerke)                                                    |
| $T_{K_{\text{Aufz}}}(i)$                        | Kombinierte Spielzeit eines Aufzuges an der Vertikalen $i$                           |
| $T_{\text{offen}}$                              | Maximale Verteilzeit (bezogen auf einen Ver- und Entsorgungsvorgang einer Quelle)    |
| $T_{\text{Tabl}}$                               | Tablettfolge an einem Portionierband                                                 |

## 8. Anhang - Darstellung untersuchter Strukturen

Die Horizontalstrukturen werden schematisch dargestellt (vgl. Abb. 4, S. 23). Mit ○ gekennzeichnete Strukturen wurden beispielhaft im Rahmen der Modellrechnungen (vgl. 5.) berücksichtigt.

 Pflegeeinheit

○ Anbindung an AWT-System (physische Senke)

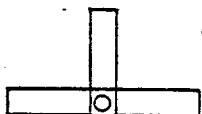
1



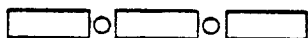
2



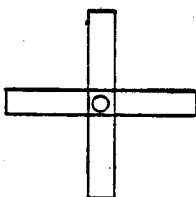
3



4



⑤



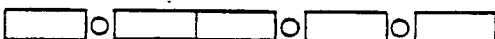
⑥



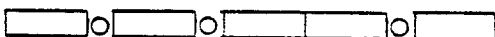
7



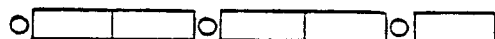
8



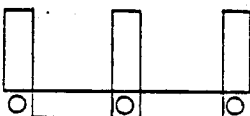
9



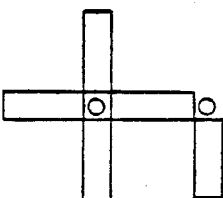
⑩



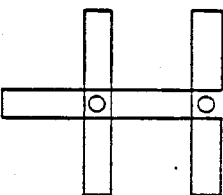
11



12



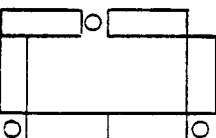
13



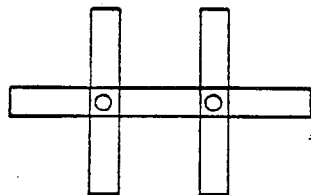
14



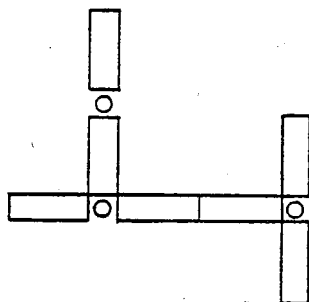
⑮



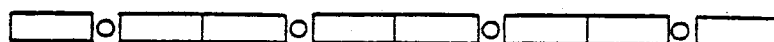
16



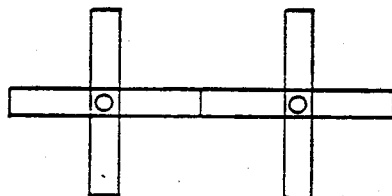
17



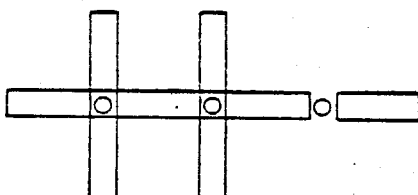
18



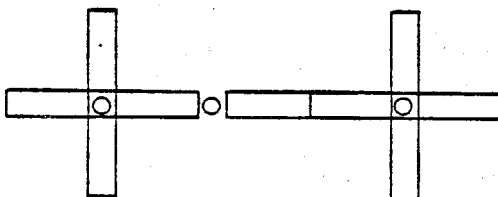
19



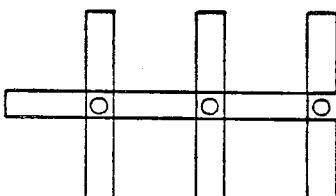
20



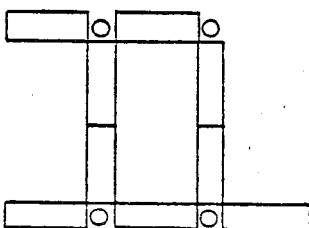
21



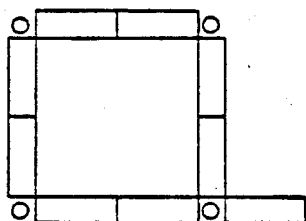
22



23



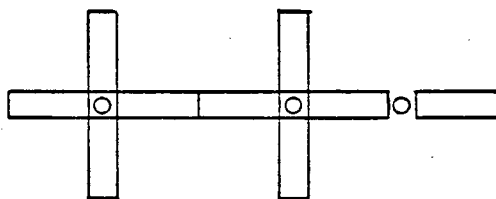
24



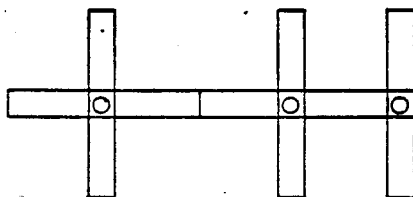
(25)



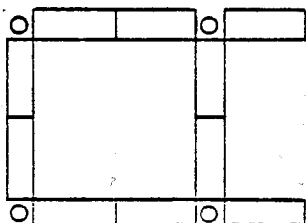
26



27



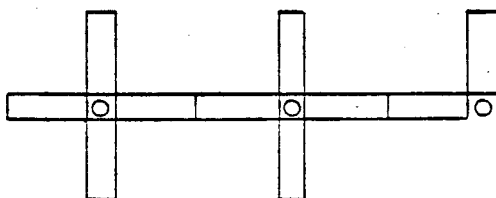
28



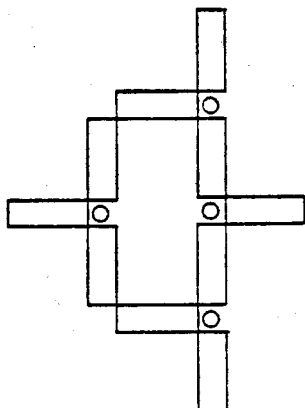
(29)



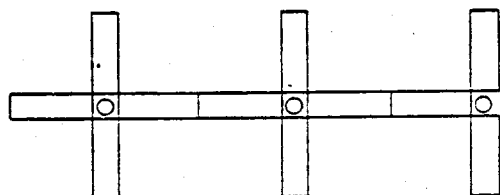
(30)



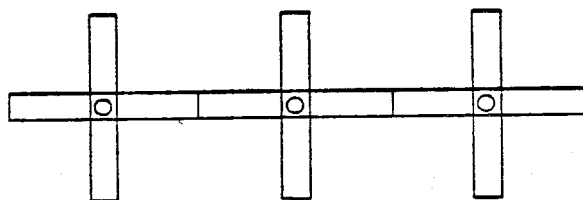
31



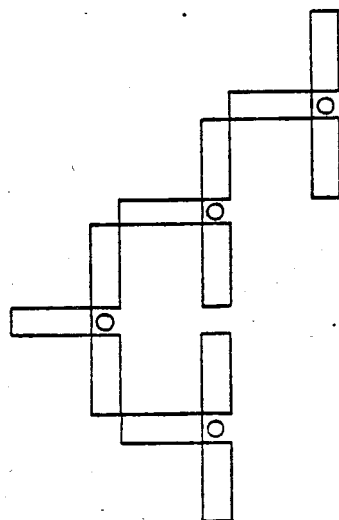
32



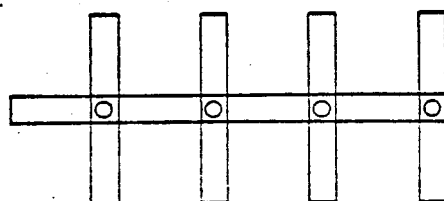
33



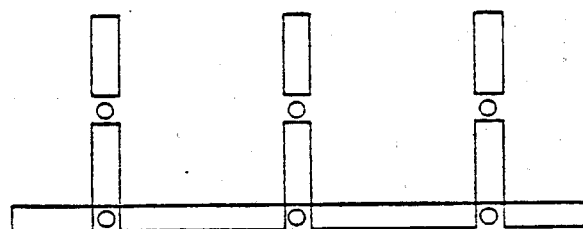
34



35



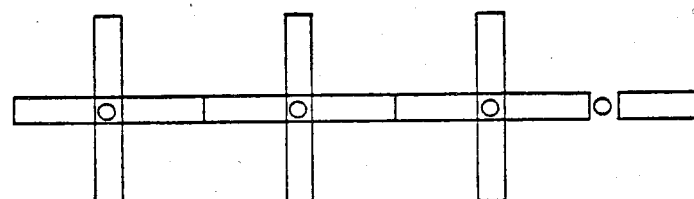
36



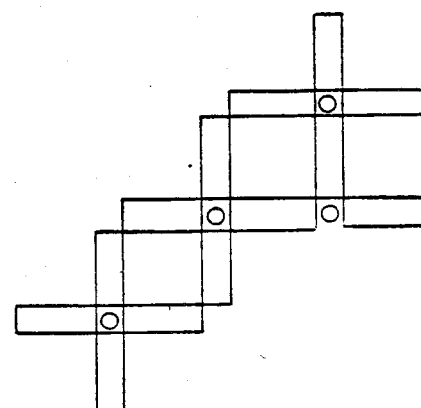
37



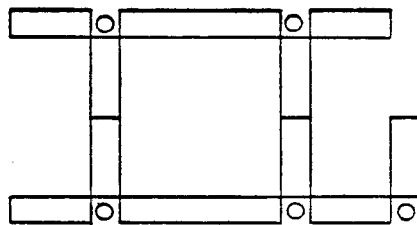
38



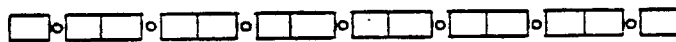
39



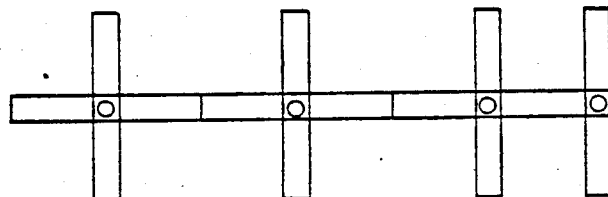
40



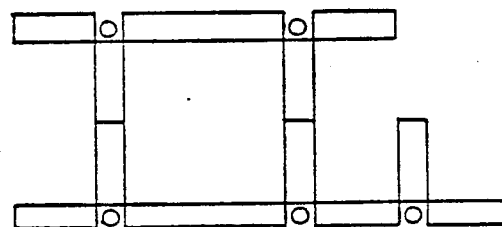
41



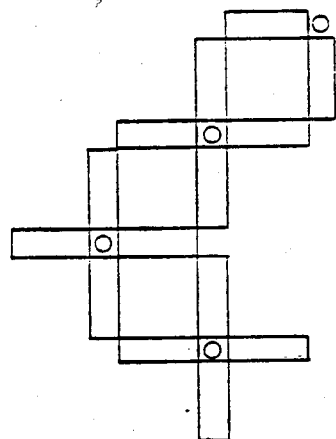
42



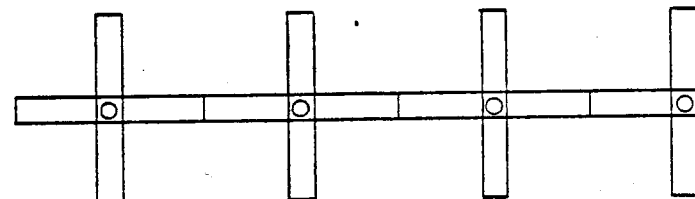
43



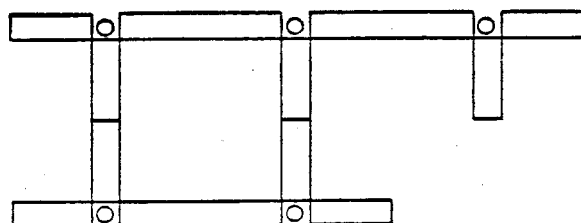
44



45

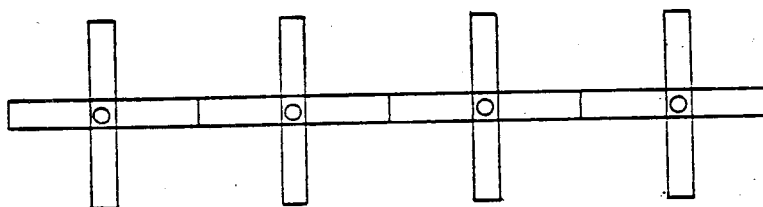


46

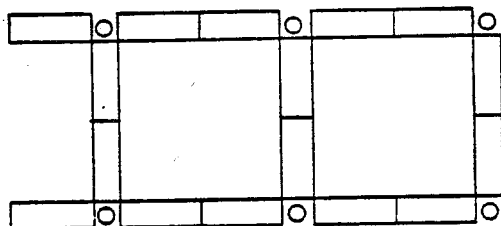




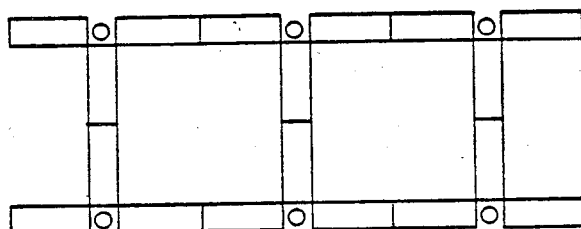
(47)



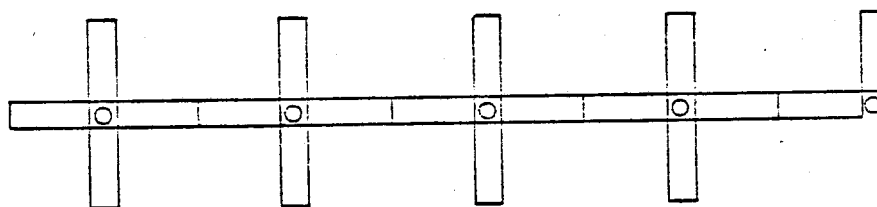
48



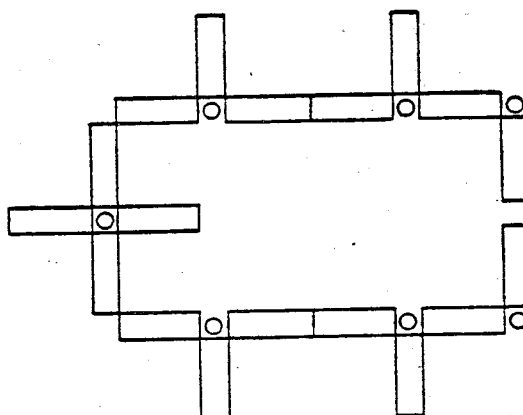
49



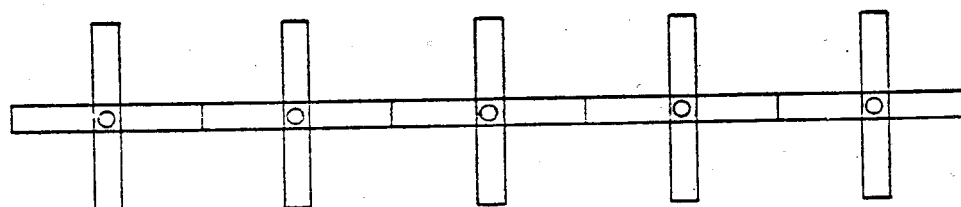
(50)



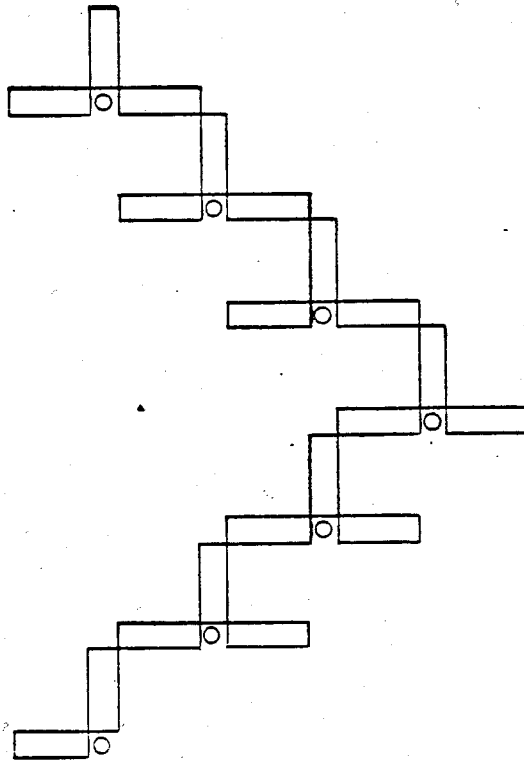
(51)



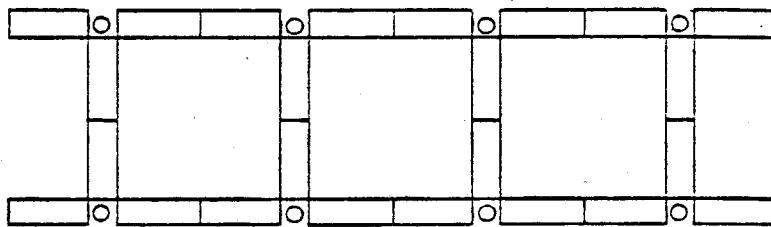
(52)



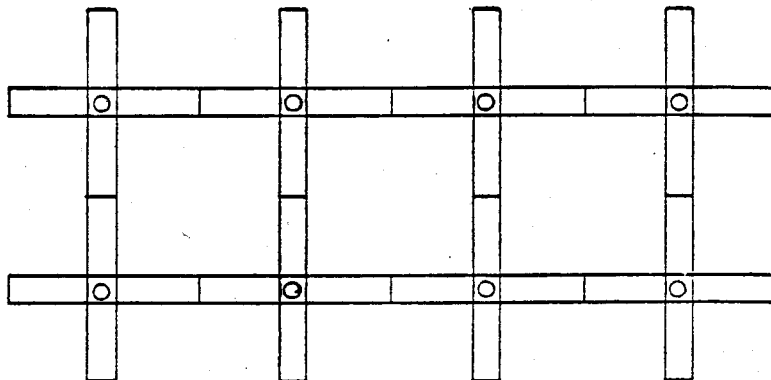
53



54



55



### Lebenslauf

24. 4. 1945      geboren in Limburg/Lahn
- 1951 - 1955      Volksschule in Limburg
- 1955 - 1964      Gymnasium in Limburg
- 1964 - 1965      Lehre als Industriekaufmann in  
Scheid Maschinenfabrik GmbH, Limburg  
(Kaufmannsgehilfenbrief)
- 1965 - 1971      Studium des Wirtschaftsingenieurwesens an der  
Technischen Universität Berlin (Dipl.-Ing.)
- 1971              wissenschaftlicher Assistent an der Technischen  
Universität Berlin, Fachbereich Kybernetik,  
am Lehrauftrag für elektronische Datenverarbeitung
- 1971 - 1975      Projektingenieur und Projektleiter für Planung  
und Anlagenrealisation bei der DEMAG Systemtechnik,  
Gesellschaft für fördertechnische Gesamtanlagen mbH,  
Hagen
- 1975 - 1978      wissenschaftlicher Angestellter an der Universität  
Dortmund, Abteilung Maschinenbau, Lehrstuhl Förder-  
und Lagerwesen